

FEN BİLİMLERİNDE YAŞANAN GELİŞMELER:

Fizik, Kimya, Biyoloji

Editör: Doç.Dr. Gani Erhan TAŞAR



FEN BİLİMLERİNDE YAŞANAN GELİŞMELER:

Fizik, Kimya, Biyoloji

Editör

Doç.Dr. Gani Erhan TAŞAR

yaz
yayınları

2023

**FEN BİLİMLERİNDE YAŞANAN
GELİŞMELER: Fizik, Kimya, Biyoloji**

Editor: Doç. Dr. Gani Erhan TAŞAR

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6524-93-4

Aralık 2023 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

İÇİNDEKİLER

İnce Film Analiz Teknikleri	1
<i>Mehmet TEMİZ, Hacı SERİN</i>	
Yarı İletkenlerin Kullanım Alanları	23
<i>Mehmet TEMİZ, Hacı SERİN</i>	
Diyarbakır İlinin (Türkiye) Sucul Böcek Çeşitliliği.....	39
<i>Gani Erhan TAŞAR</i>	
Anadolu'ya Endemik Leuciscidae Familyasına Ait Bazı Türlerin Güncel Sitogenetik Durumu.....	55
<i>Sevgi ÜNAL KARAKUŞ, Muhammet GAFFAROĞU</i>	
Bitkisel Bileşenlerin Mikrodalga Destekli Ekstraksiyonundaki Gelişmeler	75
<i>Zafer Ömer ÖZDEMİR</i>	
Oreochromis Niloticus'da Propiconazole'un Maruziyetinde Erod Enzim Aktivitesinde Olan Değişimler	89
<i>Özge TEMİZ</i>	
Biyopestisit Permethrin Maruziyetinde Oreochromis Niloticus'un Oksidatif Toksisitenin Belirlenmesi	97
<i>Özge TEMİZ</i>	
Biyokonjugatlar ve Kullanım Alanları	107
<i>Zafer Ömer ÖZDEMİR</i>	
Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümlerinin İncelenmesi Picard Teoremi	121
<i>Ahmet BOZ</i>	

İNCE FİLM ANALİZ TEKNİKLERİ

Mehmet TEMİZ¹

Hacı SERİN²

1. GİRİŞ

Yarı iletken ince filmler, modern teknolojinin temel yapı taşlarından biri haline gelmiştir. Cep telefonlarımızın güçlü işlemcilerinden, güneş panellerimize, elektronik cihazlarımızın birçoğu yarı iletken ince filmleri içerir. Bu teknolojik harikalar, yarı iletken ince filmlerin benzersiz özellikleri sayesinde mümkün olmaktadır. Bu bölümde, yarı iletken ince film analizi ile bu teknolojinin altında yatan bilimi keşfetmeye davetlisiniz.

Yarı iletken ince filmlerin ince analizi, bu filmlerin elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini anlamamıza yardımcı olur. Bu analiz, günümüzdeki cihazların performansını artırmak, enerji verimliliğini optimize etmek ve yeni teknolojik gelişmelerin kapılarını açmak için kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, yarı iletken ince film analizi sadece teknik bir zorluk değil, aynı zamanda bu materyallerin fiziksel özelliklerini anlama ve tasarlama sürecindeki yaratıcı bir keşiftir.

Bu bölüm, yarı iletken ince film analizi alanında bir rehber olarak tasarlanmıştır. İlk bölümde, yarı iletken ince filmlerin günlük yaşamımızdaki rolünü ve teknolojideki kilit

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya, Türkiye, mehmettemiz@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2974-8824.

² Öğr. Gör. Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya, Türkiye, haci.serin@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7962-3478.

önemini vurgulayacağız. Ardından, yarı iletken ince filmlerin temel özelliklerini anlamak için kullanılan analiz tekniklerini keşfedeceğiz. Ele alacağımız konular arasında yapısal karakterizasyon, optik ölçümler, elektriksel karakterizasyon ve daha pek çok önemli konu bulunmaktadır.

1.1. İnce Filmler ve Önemi

Yarı iletken ince filmler, birçok modern elektronik cihazın temel bileşenlerini oluşturan önemli malzemelerdir. İnce film teknolojisi, enerji dönüşümü, yarı iletken aygıtlar, güneş hücreleri, sensörler ve optoelektronik uygulamalar gibi çeşitli alanlarda büyük ilgi görmektedir. Bu nedenle, ince film analiz teknikleri, bu malzemelerin karakterizasyonu ve optimize edilmesi için hayati öneme sahiptir. İnce film analizi, filmlerin yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özelliklerini ayrıntılı bir şekilde incelemeyi amaçlar. Bu analizler, filmlerin bileşimi, kristal yapı, yüzey morfolojisi, optik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik gibi önemli parametrelerin belirlenmesine yardımcı olur. Ayrıca, ince filmlerin büyüme mekanizmalarını anlamak ve film-katman arayüzey etkileşimlerini incelemek için de kullanılır.

1.2. Kitap Bölümünün Amacı

Bu bölümün amacı, yarı iletken ince filmler üzerine çalışan araştırmacılara yönelik bir kaynak sağlamaktır. İnce film analiz tekniklerinin temel prensiplerini ve uygulamalarını ayrıntılı bir şekilde ele alacak ve bu tekniklerin ince film yapılarının karakterizasyonu ve performansının değerlendirilmesinde nasıl kullanıldığını gösterecektir.

2. YAPISAL ANALİZ TEKNİKLERİ

2.1. X-ışını Difraksiyonu (XRD)

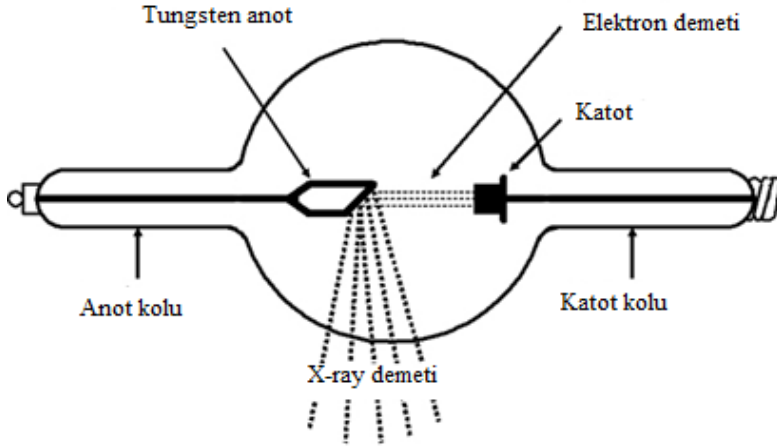
Yapısal analizde en yaygın kullanılan tekniklerden biri X-ışını difraksiyonudur. X-ışınları Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedildi. Kristal yapılarını detaylı bir şekilde incelemek için, elektromanyetik dalgalar veya madde dalgaları kullanılmalıdır. Bu dalgaların özellikle görünür ışıktan çok daha küçük dalga boylarına sahip olması gerekmektedir. Görünür ışığın dalga boylarının ötesinde, kısa dalga boylu röntgen ışınları veya yüksek enerjili elektronlar gibi araştırma araçları kullanılabilir.

Bu inceleme yöntemleri, kristal yapıdaki atomların düzenini ve aralarındaki uzaklıkları hassas bir şekilde belirlemek için etkili bir yol sağlar. Elektromanyetik dalgaların bu küçük dalga boyları, kristal yapıdaki atomların ve bağların özelliklerini belirlemek için yeterli çözünürlüğe sahiptir. Bu sayede, materyalin mekanik, elektriksel ve optik özellikleri gibi önemli özelliklerin anlaşılmasına katkıda bulunulabilir(Kittel, 1996; Rennert, 2007). Ayrıca, kristal yapıların incelenmesi, malzemenin tasarımı ve geliştirilmesi süreçlerinde önemli bir rol oynar. Bu incelemeler, yeni malzemelerin sentezlenmesi, özelliklerinin anlaşılması ve uygulamaları için optimize edilmesi gibi birçok uygulama alanında kullanılır(B. D. Cullity & S.R., 2001).

Şekil 1'de gösterilen "sıcak katot" X-ışını tüpleri, X-ışınları elde etmek için kullanılır. Bu sistemlerde havası alınmış cam tüpte pozitif ve negatif plakalar arasına yüksek gerilim uygulanır. Isıtılan filamandaki elektronlar, filamanın yüzeyinden enerji kazanarak serbest hale gelirler. Ardından, anot ile katot arasına uygulanan voltaj, bu serbest elektronlara ek enerji sağlar, onları hızlandırır ve anot yüzeyine çekilir. Bu etkileşim, elektronların anot yüzeyine çarpmasıyla sonuçlanır, bu da

elektron akımının oluşmasına ve enerjinin anot tarafına iletilmesine neden olur. Enerjisini ve hızını kaybeden elektronlar, her yönde elektromanyetik bir dalga olan x-ışınlarının yayılmasına neden olur. Hedefe çarpan elektronların enerjisinin büyük bir kısmı ısıya, %1'i ise x-ışınlarına dönüştürülür. Bu nedenle hedefin erimesini önlemek için soğutma yapılır. Uygulanan voltaj değerine bağlı olarak çeşitli dalga boylarında x-ışınları elde edilebilir(Gündüz, 1999).

Şekil 1. X-Ray Tube Used to Obtain the X-Ray



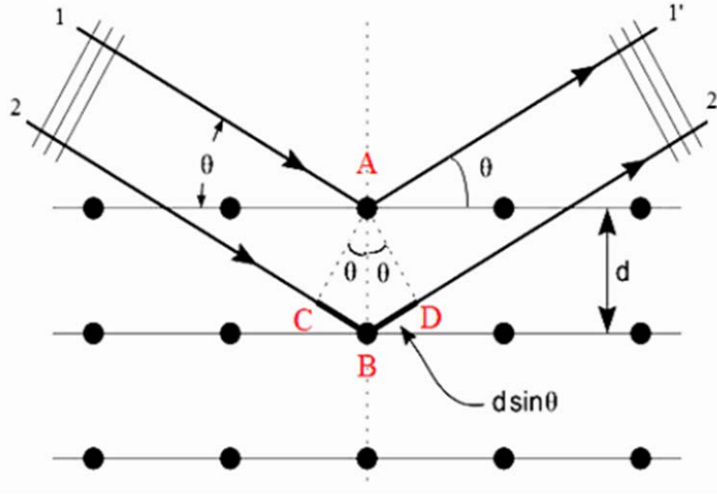
Kaynak: (Coolidge X-Ray Tubes - General Information, n.d.).

Kristal yapıların varlığı ve bu yapıdaki atomların düzeni, ilk defa 1912 yılında Max von Laue tarafından XRD spektrumları kullanılarak keşfedildi. Genellikle çok kristalli malzemelerin analizinde tercih edilen bir yöntem, X-ışınları kırınım yöntemidir, özellikle toz yöntemi. Bu yöntemde, kristal örnek toz haline getirilir ve üzerine monokromatik X-ışınları uygulanır. Gönderilen X-ışın demeti, Bragg yasasına göre belirli açılarda kırılır. Bu sayede, kırınım açısının (2θ) değişimine bağlı olarak ortaya çıkan kırınım deseni elde edilir.

Kristaldeki kırınım olayı, W.L. Bragg tarafından 1922 yılında detaylı bir şekilde açıklanmıştır(Bragg, 1922). Şekil 2'de

gösterildiği gibi, ince bir X-ışını demeti bir kristal kafes düzlemine incelendiğinde, Huygens İlkesi gereği, kristaldeki her bir atom, üzerindeki dalga hareketi için yeni bir dalga merkezi görevi görür. Bu, kristaldeki atomların düzenini ve yapılarını belirlemek için güçlü bir analiz aracı sağlar. X-ışınları kırınım yöntemi, kristal yapılarındaki atom düzenini ve aralarındaki mesafeleri ayrıntılı bir şekilde inceleyerek malzeme biliminde önemli bir rol oynar.

Şekil 2. X Işınlarnın Kristal Kırınımı



Kaynak: (Barlow, 1883).

Şekil 2'de gösterildiği gibi kırılma, kristaldeki atomların oluşturduğu farklı düzlem katmanlarından yansıyan dalgaların girişiminden kaynaklanır. Yansıma düzlemleri, kristalin yüzeyini meydana getiren düzlemlerden farklılık gösterebilir (Kittel, 1996). Kristalin paralel düzlemlerine gelen tek dalga boyundaki X ışınlarının θ açısı ile kırılmadığı varsayımı altında, kristale giren X ışınları, bu düzlemlerden θ açısıyla yansıtılacaktır. Bu önemli olay, kristalin iç yapısının X ışınlarının yansıması aracılığıyla belirli bir açıyla belirlenebileceği bir analitik yöntemi temsil eder.

Kristal yapının bu özelliği, malzeme bilimi, kristalografi ve yapısal analiz gibi alanlarda çeşitli uygulamalara sahiptir. Yansıma düzlemlerinin belirli bir geometrisi ve kristal düzeni, materyalin özellikleri üzerinde derinlemesine bir etki yapabilir. Bu nedenle, kristal yapılarının yansıma özelliklerinin anlaşılması, malzeme mühendisliği ve nanoteknoloji gibi alanlarda ileri düzeydeki teknolojik gelişmelerin temelini oluşturabilir. Aralarındaki yol farkı x-ışınlarının dalga boylarının katlarına eşitse, yansıyan ışınların birbirini yapıcı bir yönde desteklemesi mümkündür(B. D. Cullity & S.R., 2001; Dikici, 1993).

Bunun olabilmesi için;

$$n\lambda = 2d \sin \Theta \quad (1)$$

Bu eşitlik sağlanmalıdır. Bu eşitlikte d, n ve λ sırasıyla düzlemler arasındaki mesafe, bir tamsayı ve dalga boyudur. Bu eşitlik “Bragg Yasası”olarak bilinir(Bragg, 1922; Hook, 1999). Spektrum üzerindeki piklerin yoğunluğu, FWHM (tam genişlik yarı maksimum) değerleri ve arka plan yoğunluğu, bir malzemenin kristalleşme seviyesi hakkında kapsamlı bilgiler sunar. Yüksek kaliteli bir kristalleşme durumuna sahip malzemenin XRD spektrumu, minimum yoğunlukta bir zemin üzerinde belirgin ve dar pik genişliklerine sahip yüksek yoğunluklu pikler içerir.

Bu belirgin pikler, malzemenin kristal düzeninin sağlam olduğunu ve atomların düzenli bir yapıda yer aldığını gösterir. Ayrıca, FWHM değerleri, piklerin darlığını gösterir ve düşük FWHM değerleri, malzemenin kristal yapısının daha düzenli olduğunu gösterir. Arka plan yoğunluğu ise kristalleşme düzeyini etkileyen olası düzensizlikleri yansıtabilir.

Bu XRD analizi, malzemenin kristalleşmesini değerlendirmek ve kristal yapısındaki olası kusurları anlamak için önemli bir araçtır. Yüksek kristalleşme düzeyine sahip

malzemeler, genellikle özellikle elektriksel, optik ve mekanik özellikler açısından daha istikrarlı ve öngörülebilir sonuçlar sunar, bu da çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmalarını destekler.(B. D. (Bernard D. Cullity, 1978). Bileşimi bilinen bir malzemenin tercihli yönelimini karakterize etmenin yaygın bir yöntemi, malzemenin kırınım yoğunluklarını, önceden belirlenmiş (rastgele) modellerle karşılaştırmaktır. Bu kıyaslamalar, malzemenin içsel yapısal düzenlemelerini anlamak, tercihli kristalografi yönelimlerini belirlemek ve malzemenin fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilir.

Özellikle X-ışınları kırınım yöntemi, tercihli yönelim analizlerinde sıkça kullanılan bir araçtır. Bileşimi belirlenmiş bir malzemenin kristal yapısını inceleyerek, malzemenin özel yönlendirmelerini ve tercihli oryantasyonlarını ortaya çıkarmak mümkündür. Bu analizler, malzemenin endüstriyel uygulamalardaki performansını, dayanıklılığını ve işlevselliğini etkileyen kritik faktörleri anlamak için önemlidir.

Bu tür kırınım yoğunluklarındaki karşılaştırmalar, malzemenin üretim süreçlerinin optimize edilmesinde, malzemenin mühendislik özelliklerinin geliştirilmesinde ve yeni uygulamalara uygun hale getirilmesinde rehberlik sağlar. Bu da malzemenin özellikle malzeme bilimi, nanoteknoloji ve malzeme mühendisliği gibi alanlarda daha etkili ve özelleştirilmiş kullanımını destekler.

2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), yüzey morfolojisini ve yapısal detayları incelemek için kullanılan yüksek çözünürlüklü bir analiz tekniğidir. SEM, malzemelerin faz dağılımları, partikül varlığı, homojenlik düzeyi, gözenekli yapıları ve tabana olan yapışma özellikleri hakkında detaylı bilgi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu mikroskop, ışık yerine yüksek

çözünürlüklü elektronları kullanarak malzemeleri görüntülemektedir. Bu özellik, malzemelerin çeşitli özelliklerini büyük bir hassasiyetle ve yüksek büyütme oranlarında analiz etme imkânı sunar.

SEM'in inceleme yeteneği, malzemenin iletken olma gereksinimine dayanmaktadır. Yüksek öz dirençli malzemelerin üzerine, daha fazla iletkenlik sağlamak amacıyla ince bir altın kaplama uygulanır. SEM'in bir diğer önemli avantajı, odak derinliği bakımından optik mikroskobun ötesindedir. 1000X büyütme durumunda, optik mikroskobun odak derinliği yalnızca 0,1 μm iken, SEM'de bu değer 30 μm 'ye kadar çıkabilir. Bu geniş odak derinliği, malzemenin farklı katmanlarını ayrıntılı bir şekilde gözlemlene olanağı tanır.

SEM'in büyütme aralığı 5X ile 300,000X arasında değişir, bu da mikroskobun çok geniş bir yelpazede kullanılabileceği anlamına gelir. Yüksek büyütme oranları, odak derinliği ve çözünürlüğü ile birleştirildiğinde, SEM mikro-elektronik, biyoloji, tıp gibi birçok araştırma ve geliştirme alanında önemli bir araç haline gelir. Bu teknik, numunelerin detaylı bir şekilde gözlemlenmesini ve analiz edilmesini sağlayarak bilimsel çalışmalara önemli katkılarda bulunur (Goldstein & Yakowitz, 1975).

SEM'de görüntüler örnek atomların kıldığı yüksek voltajla hızlandırılan elektron demetinin uygun sensörlerde toplanarak sinyal yükselticilerden geçirilerek yüzeyin taranması ile elde edilir. Gelişmiş sistemlerde bu sensörlerin ürettiği sinyaller dijital sinyallere dönüştürülerek bilgisayar monitörüne gönderilir. Şekil 3, SEM'in şematik diyagramını göstermektedir.

Genel olarak, bir SEM cihazı aşağıdaki bileşenleri içerir.

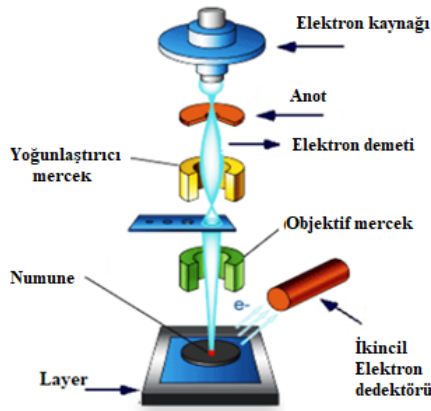
- Işının kaynağı olan elektron tabancası.
- Anot plakası.
- Konsantre lensler.

- Objektif merceği, bu merceğe takılan çeşitli çaplarda aparatlar.
- Tarama bobinleri.

SEM mikroskobu ile aşağıdaki bilgiler elde edilebilir:

- Topografya:** Numunenin yüzey özellikleri veya nasıl görüldüğü, yapısı, bu özellikler ile malzeme özellikleri arasındaki doğrudan bağlantılar (sertlik, yansıtıcılık vb.).
- Morfoloji:** Örneği oluşturan parçacıkların boyutu ve şekli, bu yapılar arasındaki doğrudan bağlantılar ve malzeme özellikleri (dayanım, reaktivite vb.).
- Kompozisyon:** Numunede bulunan elementler ve bileşikler arasındaki doğrudan bağlantılar, bunların nispi miktarları, bileşimi ve malzeme özellikleri (erime noktası, reaktivite, sertlik vb.).
- Kristalografik Bilgi:** Atomların numunede nasıl düzenlendiği, bu diziler arasındaki doğrudan bağlantılar ve malzeme özellikleri (iletkenlik, elektriksel özellik, dayanıklılık vb.).

Şekil 3 Taramalı Elektron Mikroskobunun Şematik Diyagramı



Kaynak: (Goldstein & Yakowitz, 1975).

Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskoplarından biri olan FESEM (alan emisyonlu taramalı elektron mikroskoku), bir alan emisyonlu elektron tabancasından yayılan elektronların malzemenin yüzeyi ile etkileşimi üzerinden bir yüzey görüntüsü oluşturur. Bu mikroskop türü, SEM'in temel işlevini büyük ve kararlı bir akım sağlamak olan elektron tabancasının, alan emisyonlu bir kaynaktan gelmesiyle farklılık gösterir. FESEM, özellikle termiyonik yayıcıların kullanıldığı geleneksel SEM mikroskoplarına göre çeşitli avantajlar sunar.

Geleneksel SEM mikroskoplarında kullanılan termiyonik yayıcılar, tungsten filamanları üzerinden elektrik akımı geçirilerek ısınır ve bu ısınma sonucunda filamandan elektronlar çıkar. Ancak, bu yöntemde filamanın aşınması ve buharlaşma gibi sorunlar ortaya çıkabilir. FESEM, bu tür problemleri aşmak için alan emisyon kaynağı kullanır. Bu kaynak, filamanı ısıtmaz ve soğuk katot alan emisyon tabancasına sahiptir. Keskin bir tungsten tel gibi ısıtılmamış bir metal parçaya yüksek negatif voltaj uygulandığında, bu metal parçasından yüksek elektrik alanı nedeniyle elektronlar salınır.

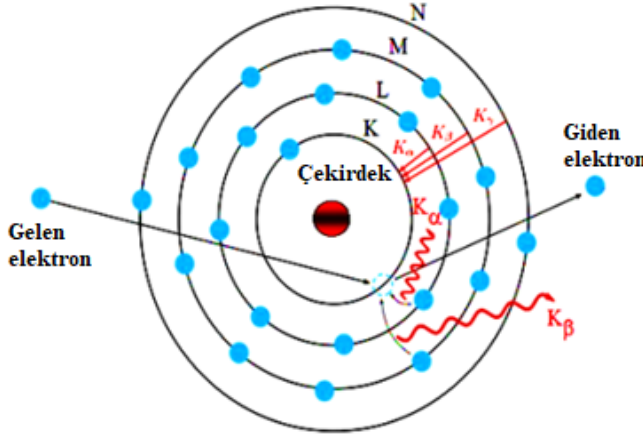
FESEM'in bu özelliği, termiyonik yayıcılara kıyasla daha hassas ve kontrol edilebilir bir elektron kaynağı sağlar. Aynı zamanda, malzemenin yüzeyini incelemek için yüksek çözünürlükte ve detaylı görüntüler elde etme yeteneğini artırır. FESEM, malzemenin nanoyapısını ve yüzey morfolojisini daha hassas bir şekilde anlamak için kullanılan güçlü bir araştırma aracıdır.(Goldstein & Yakowitz, 1975). FESEM'de iki tip ikincil elektron dedektörü vardır. Mercek dedektörü çok yüksek çözünürlük için kullanılmaktadır(Reimer, 1997). SEM-FESEM ile elde edilen yüzey görüntülerinde belirlenen bir bölgenin element analizi, enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılarak gerçekleştirilir. Seçilen bölgenin karakteristik röntgenleri, SEM-EDS sistemi tarafından ayrıntılı bir şekilde

analiz edilir. Bu yöntemle, malzemenin yüzey morfolojisinin yanı sıra element bileşimi de belirlenir.

EDS cihazının çalışma prensibi şu şekildedir: Malzeme, SEM'in yüksek enerjili elektron ışını ile bombardıman edilir, bu da malzemedeki elementlerin iç kabuklarındaki elektronların kırılmasına neden olur. Kırılan elektronun yerini doldurmak üzere dış kabuklardaki bir elektron hareket eder, bu süreçte Şekil 4'te gösterilen karakteristik x-ışınları ortaya çıkar. EDS mikroanaliz sistemi, bu karakteristik x-ışınlarını toplar, enerjilerine göre sınıflandırır, çizer ve bu enerji dağılımındaki piklerin hangi elementlere ait olduğunu belirler.

Bu analiz, malzemenin elementel bileşimini belirlemede ve yüzey özelliklerinin daha derinlemesine anlaşılmasında kritik bir rol oynar. SEM-EDS sistemi, malzemenin içsel yapısına ve bileşimine dair ayrıntılı bilgi sağlayarak, malzeme bilimi, nanoteknoloji, ve malzeme mühendisliği alanlarında kullanılmak üzere güçlü bir karakterizasyon aracı sunar.(Goldstein & Yakowitz, 1975).

Şekil 4. Characteristic X-Ray Generation



Kaynak: (Karakaya, 2015).

2.3. Yüksek Çözünürlüklü Transmisyon Elektron Mikroskobu (HRTEM)

Yüksek Çözünürlüklü Transmisyon Elektron Mikroskobu (HRTEM), modern malzeme bilimi ve nanobilim alanında önemli bir analiz aracıdır. HRTEM, elektron mikroskobunun bir alt dalı olup, elektronlar kullanarak atomik ve moleküler düzeyde yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmeyi sağlar.

HRTEM'in temel çalışma prensibi, elektronların yüksek enerjilerinin örnekle etkileşime girerek atomik düzeyde ayrıntılı görüntüler oluşturmaya dayanır. HRTEM, bir elektron demeti oluşturan bir elektron kaynağı ve demetin odaklanmasını sağlayan manyetik lenslerden oluşur. Bu elektron demeti, numune üzerinden geçerken bir dizi elektromanyetik lens tarafından odaklanır ve hedeflenen alana yönlendirilir.

Numune, ince bir kesit veya nanopartiküller gibi ince bir yapıya sahip olmalıdır, çünkü elektronlar numune içinden geçerek detaylı bir görüntü oluştururlar. Elektronlar numune ile etkileşime girerken, saçılım, difraksiyon ve absorpsiyon gibi fenomenler meydana gelir. Bu fenomenler, elektronların numune ile etkileşimi sonucunda oluşan elektron demetinin yoğunluk dağılımı üzerinde farklılık yaratır. HRTEM, bu dağılımı detaylı bir şekilde analiz ederek numunenin yapısal ve kimyasal özelliklerini belirler.

HRTEM'in ana bileşenleri, elektron kaynağı, manyetik lensler, numune hazırlama sistemleri, detektörler ve görüntü işleme yazılımlarıdır. Elektron kaynağı, genellikle tungsten veya lazer ışını ile uyarılan bir katotdan oluşur ve elektron demetini oluşturur. Manyetik lensler, demetin odaklanmasını sağlar ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesini kolaylaştırır.

HRTEM'in çeşitli çalışma modları vardır. Bunlardan biri, yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edildiği temel çalışma

modudur. Bu modda, numune üzerindeki ince yapının görüntülenmesi amaçlanır. HRTEM ayrıca, elektron saçılma desenlerinin analiz edildiği elektron difraksiyonu modunda da kullanılabilir. Bu modda, numunenin kristal yapısı, saçılma desenleri aracılığıyla karakterize edilebilir.

HRTEM'in çeşitli uygulama alanları vardır. Malzeme bilimi, nanobilim, nanoteknoloji, biyoloji ve ilaç araştırmaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. HRTEM, nanomalzemelerin ve nanoyapıların yapısal ve kimyasal analizinde kullanılır. Atomik çözünürlükte görüntüler elde edebilmesi, nanomalzemelerin şekil, boyut ve yapı özelliklerini incelemek için mükemmel bir araç haline getirir.

3. OPTİK ANALİZ TEKNİKLERİ

3.1. UV-VIS Spektroskopisi

Yarıiletken malzemelerin optik özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, optoelektronik devrelerin fiziksel ve teknolojik açıdan temel bir rol oynar. Optoelektronik devrelerin işleyiş mekanizması, yarıiletken malzemeler içindeki serbest yük taşıyıcılarının oluşum sürecine dayanmaktadır. Bu süreç, yarıiletken malzeme üzerine gönderilen fotonlar tarafından tetiklenir.

Fotonların yarıiletken üzerindeki etkileşimi sonucunda serbest yük taşıyıcıları oluşur, bu da optoelektronik devrenin anahtar işleyiş prensibidir. Dolayısıyla, yarıiletkenlerin pratik uygulamaları ve optoelektronik teknolojilerin geliştirilmesi için elektronların fotonlarla etkileşiminin temel mekanizmalarının detaylı bir şekilde incelenmesi büyük önem taşır. Bu araştırmalar, yarıiletken tabanlı optoelektronik cihazların tasarımında ve geliştirilmesinde kritik bir rol oynayarak ileri

teknoloji uygulamalarının gelişimine katkıda bulunur(Singh, 1995; Streetman & Banerjee, 2000).

Fotonlar bir yarı iletken üzerine gönderildiğinde; Elektronlarla etkileşim soğurma, iletim, yansıma ve kırılma gibi bazı optik olaylarla sonuçlanır(Askeland, 1998). Absorpsiyon, bir malzeme içindeki elektrik yüklerinin, malzeme üzerine düşen elektromanyetik dalgalarla etkileşimi sonucu enerji kaybı olarak tanımlanır(Omar, 1975). Bu enerji kaybı malzemenin atomları tarafından kullanılır. d, kalınlığındaki herhangi bir malzeme elektromanyetik dalga ile etkileşime girdiğinde, iletilen ışığın yoğunluğu denklem 1 ile hesaplanabilir.

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (2)$$

Burada; I_0 , ince film üzerine düşen ışığın yoğunluğu; I , ince filminden geçen ışığın yoğunluğu; d , ince filmdeki ışığın yolu; ve α , kullanılan malzemenin absorpsiyon katsayısıdır. Denklem 1, absorpsiyon yasası olarak bilinen ve Lambert tarafından geliştirilen Beer-Lambert yasası olarak da bilinir(Bube, 1970). Buna göre, α aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilir.

$$\alpha = 2,303A / d \quad (3)$$

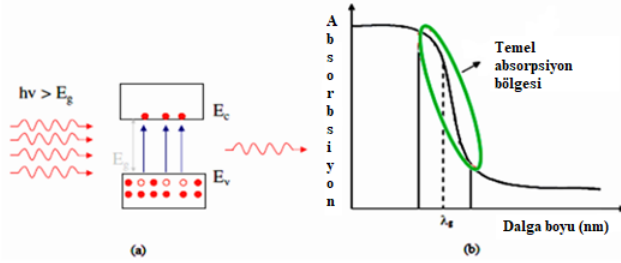
$$A = \log_{10}(I_0 / I) \quad (4)$$

Burada A , absorbans olarak da bilinen optik yoğunluktur. Absorpsiyon katsayısı α , elektromanyetik dalga dalga boyuna, malzemenin yoğunluğuna ve optik bant aralığına bağlı olarak değişir(Nadeem & Ahmed, 2000; Smith, 1990).

Yarıiletken bir malzemede ışığın absorpsiyonu genellikle aşağıdaki şekillerde gerçekleşebilir: i) Temel absorpsiyon olayı, ii) Egzitonlar tarafından absorpsiyon olayı, iii) Serbest taşıyıcılar tarafından absorpsiyon olayı, iv) Safsızlık atomları tarafından absorpsiyon olayı.

Bir yarıiletken içinde, bir elektronun iletim bandından valans bandına geçerek malzeme tarafından soğurulan bir fotonun etkisiyle gerçekleşen bu olaya "temel absorpsiyon olayı" adı verilir. Bu geçiş sırasında, elektron valans bandından ayrıldığında bir boşluk, yani bir "hol" bırakır ve bu süreç sonucunda bir elektron-hol çifti oluşur. Temel absorpsiyon olayının gerçekleşebilmesi için, yarıiletken üzerindeki fotonun enerjisinin optik bant aralığına eşit veya daha büyük olması gerekmektedir ($h\nu \geq E_g$). Bu, temel absorpsiyon olayının yoğunlaştığı ve hızla arttığı absorpsiyon spektrumunda belirgin bir bölge olarak bilinir.

Şekil 5 A) Yarıiletkenlerde Elektron-Boşluk Çifti Oluşumu ve (B) Yarıiletkenlerde Absorpsiyon Spektrumu.



Yarıiletkenlerde, temel absorpsiyon bölgesinde iki farklı türde geçiş gerçekleşebilir: doğrudan geçişler ve dolaylı geçişler. Her iki durumda da, geçişin niteliği ve kullanılan yol önemli ölçüde farklıdır. Yarıiletken malzemelerin optik özellikleri, bu geçiş türlerinin incelenmesiyle anlaşılır. Özellikle, fotovoltaik güneş hücreleri gibi teknolojik uygulamalarda tercih edilen yarıiletken malzemeler genellikle doğrudan bant aralığına sahiptir.

Doğrudan bant aralığına sahip yarıiletkenlerde, elektronlar ve hallar, iletim bandından valans bandına doğrudan bir şekilde geçiş yaparlar. Bu tip geçişlerin, özellikle teknolojik uygulamalarda (örneğin, güneş enerjisi dönüşümü için

kullanılan fotovoltaiik hücrelerde) avantajlı olduğu görölmektedir. Bu malzemelerde doğrudan geçişler için lineer absorpsiyon katsayısı, foton enerjisi ($h\nu$) ile bant aralığı enerjisi (E_g) arasındaki ilişkiyi ifade eden aşağıdaki denklemlerle tanımlanır(Omar, 1975).

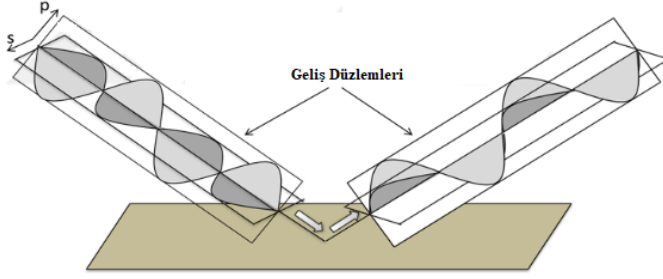
$$n_0 h\nu \cong (h\nu - E_g)^n \quad (n_0 = 1) \quad (5)$$

Burada n_0 ve n , kırılma indisidir ve izin verilen doğrudan geçişler için 1/2 ve yasaklanmış doğrudan geçişler için 3/2 alan bir sabittir. Bu grafiklerin lineer bölümlerinin $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 'da kestiğı noktanın enerji değeri filmlerin bant aralığı olarak belirlenir. Bu yöntem optik yöntem olarak bilinir(Nag, 1980; Paraguay D. et al., 1999).

3.2. Elipsometri

Elipsometri, etkili bir optik karakterizasyon yöntemidir ve deneysel olarak basittir ve tahribatsızdır. Bu yöntem, kristal yüzeyinden yansıyan polarize ışığın değışimini kullanarak bilgi sağlar. Elipsometri terimi, genellikle yansıyan ışığın eliptik şeklinden kaynaklanır. Elipsometri yöntemiyle elde edilen veriler, ψ ve Δ sembolleriyle temsil edilir ve elipsometre aracılığıyla ölçölür. ψ ve Δ , yansıyan ışığın paralel ve dikey bileşenlerinin genlik oranını ve faz kaymasını ifade eder. Şekil 6, bir ışık dalgasının numune yüzeyinden yansımısını göstermektedir. p- ve s-polarizasyon, normal eksene göre gelen ve yansıyan ışığın paralel ve dik konumunu ifade eder. Şekilde gösterilen geliş düzlemi, gelen elektrik alanlarının ve yansıyan dalgaların bulunduğu düzlem olarak adlandırılır.

Şekil 6 P- ve S- Polarize Işık Dalgalarının Yansıması



Kaynak: (Fujiwara, 2007).

Elipsometri deneylerinde, numune yüzeyine yöneltilen p- ve s-polarize ışık dalgalarının yayılması gerçekleştirilir. Numune yüzeyinden yansıyan polarize ışığın genliği ve fazı, bu yüzeydeki etkileşimler sonucunda değişiklik gösterir. Deneysel veriler, genlik oranını sembolize eden ψ ve p ve s polarizasyonları arasındaki faz farkını sembolize eden Δ ile ifade edilir. Elipsometri, teorik altyapısını Fresnel denklemlerinden almaktadır. Genlik yansıması (r_p) ve iletim (t_p) ifadeleriyle ilişkilendirilen ψ ve Δ , bu denklemlere dayanmaktadır.

$$\rho \equiv \tan(\psi) \exp(i\Delta) \equiv \frac{r_p}{r_s} \quad \text{for reflection measurements} \quad (6)$$

$$\rho \equiv \tan(\psi) \exp(i\Delta) \equiv \frac{t_p}{t_s} \quad \text{for transmission measurements} \quad (7)$$

Elipsometri deneylerinde kullanılan farklı optik modeller, ψ ve Δ analizleriyle birlikte optik parametrelerin belirlenmesine olanak sağlar. Eğer toplu bir kristal kullanılıyorsa, hava/numune optik modeli aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon = \sin^2 \Theta_i \left[1 + \tan^2 \Theta_i \left(\frac{1 + \rho}{1 - \rho} \right)^2 \right] \quad (8)$$

Bu denklem dielektrik fonksiyonu (ϵ) elde etmek için kullanılır.

θ i geliş açısına karşılık gelir. Karmaşık dielektrik sabiti, gerçek (ϵ_1) ve sanal (ϵ_2) bileşenleri cinsinden şu şekilde yazılabilir:

$$\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2 \quad (9)$$

Hava/numune optik modeli, dielektrik fonksiyonun bileşenlerini hesaplamamızı sağlar. Daha sonra kırılma indeksi (n) ve sönme katsayısı (k) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilebilir.

$$n = \left[\left(\epsilon_1 + (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2} \right) / 2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

$$k = \left[\left(-\epsilon_1 + (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)^{1/2} \right) / 2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Bir numune yüzeyi ışık demetine maruz kaldığı zaman, numune tarafından bir kısmı absorbe edilir. Absorpsiyon katsayısı (α), numune içindeki ışığın tamamen absorbe edilmeden önce katettiği mesafeyi belirten bir optik parametredir. Işığın sönme katsayısı (k), birim uzunlukta ışığın absorbe olma miktarını belirtir. Bu katsayı, ışığın sönme katsayısı ile dalga boyu (λ) arasındaki ilişki ile ifade edilir.

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (12)$$

Foton enerjisi ($h\nu$) ile absorpsiyon katsayısı arasındaki ilişki, kullanılan numunenin bant aralığı enerjisini (E_g) belirlememizde etkili bir rol oynamaktadır. Foton enerjisi ($h\nu$), absorpsiyon katsayısı ile şu şekilde ilişkilidir(Habaibi, 2016):

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^p \quad (13)$$

Burada A , geçiş olasılığına dayalı bir sabittir ve p , dolaylı geçişler için 2'ye ve doğrudan geçişler için 1/2'ye eşit olan bir indistir.

3.3. Fotolüminesans Spektroskopisi

Fotolüminesans spektroskopisi, bir maddenin ışığa maruz kaldığında yaydığı floresans ışığın incelenmesini içeren bir analitik tekniktir. Bu teknik, hem organik hem de inorganik maddelerin yapısal ve optik özelliklerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotolüminesans spektroskopisi, çeşitli disiplinlerde, özellikle malzeme bilimi, kimya ve biyoteknoloji alanlarında önemli bir rol oynamaktadır.

4. SONUÇ

Yarı iletken ince film analizinin sadece teknik bir zorluk olmanın ötesinde, aynı zamanda yaratıcı bir keşif süreci olduğuna vurgu yapılarak, bu alanda ileri düzey araştırmacılara ve teknoloji meraklılarına rehberlik edilmesi amaçlanmaktadır. Bu kitap bölümü, yarı iletken ince filmlerin bilimsel ve teknolojik açıdan derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunmak üzere tasarlanmıştır.

Sonuç olarak, yarı iletken ince film analizi, günümüzdeki ve gelecekteki teknolojik gelişmeler için temel bir öneme sahiptir. Bu alandaki keşifler, cihazların performansını optimize etmek ve yeni teknolojik gelişmeleri mümkün kılmak adına kapıları aralamaktadır. Bu kitap bölümü, okuyuculara bu heyecan verici keşif yolculuğunda rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Askeland, D. R. (1998). *Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri*. Nobel yayıncılık.
- Barlow, W. (1883). Probable nature of the internal symmetry of crystals. *Nature*, 29(738), 186–188.
<https://doi.org/10.1038/029186a0>
- Bragg, W. L. (1922). *The diffraction of X-rays by crystals nobel lecture*.
- Bube, R. H. (1970). *Photoconductivity of Semiconductor Devices*. ohn Wiley and Sons Inc.
- Coolidge X-ray Tubes - General Information. (n.d.). Retrieved February 19, 2021, from <https://www.orau.org/ptp/collection/xraytubescoolidge/coolidgeinformation.htm>
- Cullity, B. D. (Bernard D. (1978). *Elements of x-ray diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Cullity, B. D., & S.R., S. (2001). *Elements of X-ray diffraction* (3rd ed.). In *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınlar*. Prantice Hall.
- Dikici, M. (1993). *Katıhal fiziğine giriş*.
- Fujiwara, H. (2007). *Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Applications*.
- Goldstein, J. I., & Yakowitz, H. (1975). *Practical scanning electron microscope*. Plenum press incorporation.
- Gündüz, E. (1999). *Modern Fiziğe Giriş*.
- Habaibi, O.-A. (2016). *Structural And Ellipsometric Properties Of Gas(X)Se(1-X)Layered Mixed Crystals* (Issue NOVEMBER).
- Hook, J. R. (1999). *solid state physics*. Literatür yayıncılık.

- Karakaya, S. (2015). *Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği ile Büyütülen Katkısız ve Bor Katkılı ZnO Filmlerinin Optiksel, Elektriksel, Yapısal ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Kittel, C. (1996). *Introduction to Solid State Physics EIGHTH EDITION* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Nadeem, M. Y., & Ahmed, W. (2000). *Optical Properties of ZnS Thin Films*. 24, 651–659.
- Nag, B. (1980). *Electron Transport in Compound Semiconductors*. Springer Berlin Heidelberg.
- Omar, M. A. (1975). *Elementary Solid State Physics: Principles and Applications*. AddisonWesley Publishing Company.
- Paraguay D., F., Estrada L., W., Acosta N., D. R., Andrade, E., & Miki-Yoshida, M. (1999). Growth, structure and optical characterization of high quality ZnO thin films obtained by spray pyrolysis. *Thin Solid Films*. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(99\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(99)00050-4)
- Reimer, L. (1997). *Physics of image formation and microanalysis, Scanning Electron Microscopy*. pringer Series.
- Rennert, P. (2007). J. S. Blakemore. Solid state physics. Cambridge University Press 1985, 2. Auflage, Preis: £ 40.00, ISBN 0-521-30 932-8. *Crystal Research and Technology*. <https://doi.org/10.1002/crat.2170220613>
- Singh, J. (1995). *Semiconductor optoelectronics*. McGraw-Hill, Inc.
- Smith, W. F. (1990). *Principles of materials science and engineering*. Mc Graw-Hill, Inc.
- Streetman, B. G., & Banerjee, S. (2000). *Solid state electronic devices*.

YARI İLETKENLERİN KULLANIM ALANLARI

Mehmet TEMİZ¹

Hacı SERİN²

1. GİRİŞ

Yarı iletkenlerin tarihi, 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanmaktadır. Kristal radyo alıcılarının icadı, yarıiletkenlerin ilk uygulamalarından biri olarak kabul edilebilir. 20. yüzyılın başlarında, yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri hakkında daha fazla anlayış elde edilmiş ve ilk yarıiletken cihazlar geliştirilmiştir.

Bir dönüm noktası, 1947'de Bardeen, Brattain ve Shockley'in transistörü icat etmesi olmuştur. Bu icat, elektronik cihazların tasarımında devrim yaratmış ve modern bilgisayarların, iletişim sistemlerinin ve diğer teknolojik cihazların gelişimine öncülük etmiştir.

1950'lerde ve 1960'larda yarıiletken teknolojisi hızla gelişmiş ve entegre devrelerin (IC'ler) ortaya çıkmasıyla dijital teknoloji devrimi gerçekleşmiştir. Bu dönemde, yarıiletken malzemelerin üretimi ve işlenmesi üzerine yapılan çalışmalar, yarıiletken endüstrisinin temellerini atmıştır.

1970'ler ve 1980'ler, yarıiletken teknolojisinde büyük ilerlemelerin yaşandığı dönemler olmuştur. Bu dönemde,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya, Türkiye, mehmettemiz@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2974-8824.

² Öğr. Gör. Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya, Türkiye, haci.serin@selcuk.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7962-3478.

mikroçipler, entegre devreler ve bilgisayar teknolojisi önemli ölçüde gelişmiştir.

Sonraki yıllarda, yarıiletken teknolojisi, güçlü bir şekilde devam eden Ar-Ge çalışmalarıyla sürekli olarak gelişmiştir. Bu süreçte, yüksek performanslı işlemciler, güçlü lazerler, fotovoltaiik paneller ve diğer yarıiletken tabanlı teknolojilerin geliştirilmesiyle birlikte yarıiletken endüstrisi büyük bir büyüme göstermiştir. Bugün, yarıiletkenler hemen hemen tüm modern teknolojik cihazların temelini oluşturmaktadır ve elektronik endüstrisinin temel taşı haline gelmiştir.

Bu bölümde, yarıiletkenlerin geniş kullanım alanlarına odaklanarak, modern teknolojinin temel bileşenlerinden biri olan yarıiletkenlerin önemini ve yaygınlığını ele alacağız. Yarıiletkenlerin elektriksel, optik ve termal özellikleri, birçok endüstri ve teknoloji alanında başarıyla uygulandığı farklı alanlara nasıl katkı sağladığını inceleyeceğiz.

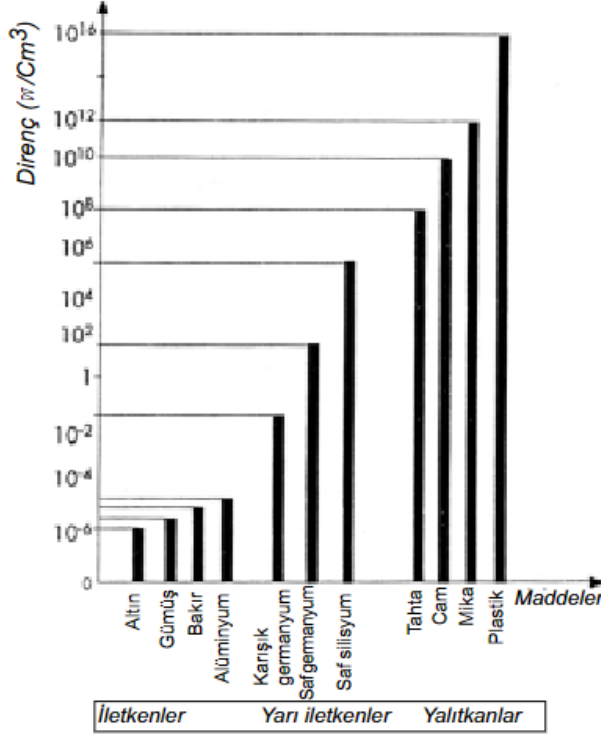
2. YARI İLETKENLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Yarı iletkenler, adlarından da anlaşılacağı gibi, iletken ve yalıtkan malzemeler arasında konumlanan malzemelerdir. Katı maddelerin en karmaşık ve önemli sınıfını oluşturan bu malzemeler, geniş bir spektrumu kapsar ve metalik özelliklerden yalıtkan özelliklere kadar çeşitli özellikler sergiler. Ayrıca, yarı iletkenlerin birçok farklı alanda kullanım potansiyeli bulunmaktadır(Othman 2009).

Yarı iletkenlerin son yörüngelerinde 4 elektron bulunur. Oda sıcaklığında 10-2 ile 109 Ωcm arasında değişen öz direnç değerine sahiptirler. İletkenler için bu değer 10-6 Ωcm yalıtkanlar için ise 1014-1020 Ωcm değerindedir. Malzemenin çeşitli şekillerde uyarılması, örgü kusurları veya kimyasal düzenindeki değişiklikler gibi faktörlerin etkisiyle yarı iletkenlere ait

özellikler ortaya çıkar. Yarı iletken malzemelerin elektriksel iletkenliği, sıcaklık değişimlerine sıkıca bağlıdır. Artan sıcaklık, bu malzemelerin öz dirençlerinin azalmasına neden olan belirgin bir özelliktir(Burns 1990).

Şekil 1 İletken Yalıtkan ve Yarıiletkenlerin Öz Direnç Değerleri.



Yarı iletkenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

2.1.Elementel Yarı iletkenler

Elementel yarı iletkenler, saf formlarıyla tek bir kimyasal elementten oluşan yarı iletken malzemelerdir. Silikon (Si) ve Germanium (Ge) en yaygın elementel yarı iletkenlerdir. Bu malzemeler, kristal yapılarındaki atomların tamamen aynı türden oluşmasına rağmen, belirli işlemlerle katkı maddeleri eklenerek daha verimli yarı iletken malzemeler haline getirilebilirler.

Örneğin, bu katkı maddeleri sayesinde pozitif veya negatif yüklü elektriksel taşıyıcılar oluşturularak yarı iletkenlerin iletkenlik özellikleri kontrol edilebilir. Bu özellikleri, modern elektronik cihazların ve yarı iletken temelli bileşenlerin (transistörler, diyotlar vb.) temelini oluşturur. Elementel yarı iletkenler, endüstride elektronik devrelerin üretiminde ve fotovoltaik panellerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Son derece hassas kontrol edilebilir iletkenlik özellikleri ve geniş işlem kapasitesi, onları modern teknolojiye vazgeçilmez bir malzeme yapmaktadır.

2.2.Bileşik Yarıiletkenler

Bileşik yarı iletkenler, iki veya daha fazla elementten oluşan karmaşık yapıdaki yarı iletken malzemelerdir. Bu tür yarı iletkenlerde, malzemeler arasındaki elektronegatiflik farkı nedeniyle kristal yapılarında hem iyonik hem de kovalent bağlar gözlemlenir. Bu karmaşık bağlanma kombinasyonu, malzemenin elektriksel ve optik özelliklerini belirler. Bileşik yarı iletkenlerin yapısal karmaşıklığı, saf elementel yarı iletkenlerden farklı davranışlar sergilemelerine neden olur. Bu tür yarı iletkenler, katkı maddeleri eklenerek özellikle özelliği istenen şekilde değiştirilebilir. Bu özelleştirme, yüksek verimli fotovoltaik paneller, yüksek performanslı lazer diyotlar, LED'ler ve çeşitli yarı iletken tabanlı elektronik cihazların geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bileşik yarı iletkenlerin elektriksel özelliklerinin ve iletkenlik profillerinin karmaşıklığı, onları geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde kullanılabilir ve değerli bir malzeme haline getirir.

Tablo 1. Bazı Elementel ve Bileşik Yarı İletkenler

(a)	II Zn Cd	III B Al Ga In	IV C Si Ge Sn	V P As Sb	VI S Se Te
(b)	Elemental Si Ge	IV compounds SiC	III-V compounds AlP AlAs AlSb GaP GaAs GaSb InP InAs InSb	II-VI compounds ZnS ZnSe ZnTe CdS CdSe CdTe	

Kaynak: (Temiz 2021).

2.3. Alaşım Yarı iletkenler

Alaşım yarı iletkenler, belirli miktarda farklı bir elementin bir bileşiğe katılmasıyla oluşturulan yarı iletken malzemelerdir. Bu tür yarı iletkenler genellikle üçlü veya dörtlü yarı iletkenler olarak adlandırılır. Bu alaşımların bant yapısı, örgü sabiti ve diğer fiziksel özellikleri, malzemeyi oluşturan ikili yarı iletkenlerden farklıdır. Örneğin, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{AsyP}_{1-y}$ ve $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ gibi alaşım yarı iletkenler, indisler alaşımı oluşturan elementlerin oranlarını belirtir. Bu tür alaşımların oluşturulması, istenen elektriksel ve optik özelliklere göre malzemenin özelliklerini hassas bir şekilde ayarlamayı mümkün kılar. Bu özelleştirme kabiliyeti, alaşım yarı iletkenleri, özellikle optoelektronik uygulamalarda ve yüksek performanslı elektronik cihazlarda kullanılmak üzere tercih edilen malzemeler haline getirir. Alaşım yarı iletkenlerin bu özelliği, özellikle lazer diyotlar, güneş hücreleri, algılayıcılar ve diğer yarı iletken tabanlı cihazlar gibi birçok uygulama alanında kullanımlarını artırmıştır.

3. YARI İLETKENLERİN KULLANIM ALANLARI

3.1.Elektronik Uygulamalar

Yarıiletkenlerin entegre devrelerin temel yapı taşları olarak kullanılması, son yıllarda elektronik cihazlarda büyük bir hızla küçülme ve performansın artmasına yol açmıştır. Bu teknoloji, bilgisayarlar, cep telefonları, tüketici elektroniği ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda önemli yenilikler getirmiştir. Yarıiletken teknolojisinin gelişimiyle, daha küçük boyutlarda ve daha güçlü işlemciler, daha yüksek kapasiteli bellekler ve daha hızlı veri iletimi sağlayan entegre devreler geliştirilebilmektedir. Bu da daha verimli, daha hızlı ve daha güçlü elektronik cihazların tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Bu gelişmeler, günümüzde insan yaşamını pek çok yönden etkileyen akıllı cihazların, tıbbi ekipmanların, otomotiv sistemlerinin ve iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesine katkıda bulunmuştur. Entegre devrelerin kullanımı, karmaşık sistemlerin daha verimli ve daha güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlayarak, dijital devrimin temelini oluşturmaktadır.

3.1.1. MOSFET (Metal-Oksit-Yarı iletken Alan Etkili Transistör)

MOSFET, bir kapı (gate), kaynak (source) ve sıhhi (drain) olmak üzere üç terminalden oluşan bir yarıiletken cihazdır. Bir MOSFET'in çalışma prensibi, kapı voltajının değiştirilmesiyle kanal bölgesindeki iletkenlik durumunu kontrol etmeye dayanır. Kapı gerilimi arttıkça veya azaldıkça, kanal bölgesindeki iletkenlik değişir, bu da akımın akışını kontrol eder. MOSFET'lerin çeşitli avantajları arasında düşük güç tüketimi, yüksek hız, küçük fiziksel boyut, yüksek verimlilik ve düşük gürültü seviyeleri bulunmaktadır. Bu özellikler, MOSFET'leri bir dizi farklı uygulamada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Örneğin, bilgisayarlar, cep telefonları, televizyonlar, güç

kaynakları, amplifikatörler, güneş panelleri ve motor sürücüler gibi elektronik cihazlarda MOSFET'ler sıkça kullanılmaktadır.

Bu günlerde, MOSFET'ler modern elektronik cihazların temelini oluşturuyor. Anahtarlama, amplifikasyonda ve güç kontrolünde hayati bir rol oynayan bu yarıiletken cihazlar, elektronik endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahip olmalarıyla bilinir. Yüksek performans, düşük güç tüketimi ve kompakt boyutlarıyla dikkat çeken MOSFET'ler, sürekli gelişen teknolojilerle birlikte gelecekte daha da büyük bir öneme sahip olacaklar. Bu nedenle, MOSFET'lerin ilerleyen dönemlerde elektronik cihazlar alanında daha da belirleyici bir rol oynaması beklenmektedir(Mekatronik 2023).

Şekil 2. MOSFET'in Şekilsel Olarak Gösterimi

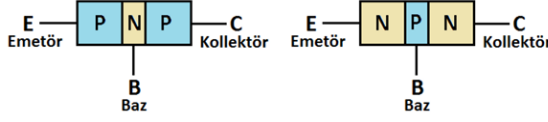


Kaynak: (Mekatronik 2023)

3.1.2. BJT (Bipolar Transistör)

BJT, baz, emetör ve kolektör olmak üzere üç terminalden oluşan bir yarıiletken cihazdır. BJT'nin çalışma prensibi, bir akımın bir terminalden diğerine akışını kontrol etmek için bir akım amplifikasyonu sürecine dayanır. BJT'nin iç yapısı, iki p-n birleşimi arasındaki etkileşime dayanır. Bu, baz akımının kolektör-emetör akımı üzerindeki kontrolü sağlar. BJT'ler, yüksek akım ve güç geçişleri için kullanılır ve analog elektronik devrelerde, güç kontrol uygulamalarında ve radyo frekansı devrelerinde yaygın olarak bulunur.

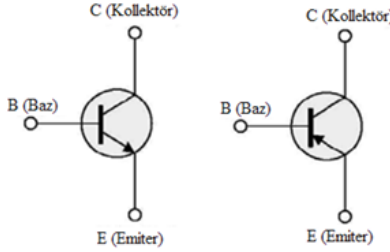
Şekil 3. NPN ve PNP Tipi Transistörlerin Fiziksel Yapısı



Kaynak: (Karadeniz Teknik Üniversitesi 2023).

Her iki transistör türü de modern elektronik cihazların temelini oluşturur ve günümüzde pek çok endüstriyel ve tüketici elektroniği uygulamasında kullanılır. Bu transistörler, elektronik cihazların daha verimli, daha güvenilir ve daha güçlü olmasını sağlar ve teknolojik ilerlemenin temelini oluşturur.

Şekil 4. NPN ve PNP tipi transistörlerin şematik sembolleri



Kaynak: (Karadeniz Teknik Üniversitesi 2023).

3.1.3. Diyotlar

Yarıiletken diyotlar, elektriksel devrelerde çeşitli amaçlarla kullanılır. İşlevlerine göre, aşağıdaki gibi kullanım alanları bulunmaktadır:

Doğrultma: Diyotlar, alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürmek için kullanılır. Bu, güç kaynaklarında ve güç tedarik sistemlerinde kullanılan bir uygulamadır.

Modülasyon: Yarıiletken diyotlar, sinyallerin modülasyonu için kullanılabilir. Bu, radyo frekansı ve mikrodalga cihazları gibi iletişim sistemlerinde yaygın olarak kullanılır.

Koruma: Diyotlar, devrelerin ters polarizasyona karşı korunması için kullanılır. Bu, devrelerde aşırı gerilimlerin ve geri akımların olumsuz etkilerini engellemek için önemlidir.

Algılama: Diyotlar, sinyal algılama ve demodülasyon gibi uygulamalarda kullanılabilir. Bu, radyo alıcıları, güç ölçüm cihazları ve sensörler gibi cihazlarda yaygın olarak görülür.

Dalga Şekillendirme: Diyotlar, sinyallerin dalga şeklini değiştirmek için kullanılabilir. Bu, sinyal işleme devrelerinde ve iletişim sistemlerinde önemli bir rol oynar.

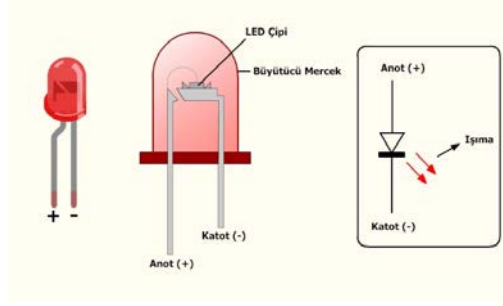
Bu farklı kullanım alanlarına ek olarak, diyotlar elektronik devrelerde gerilim regülasyonu, frekans modülasyonu ve osilatör devrelerinde de kullanılabilir. Ayrıca, LED'ler (ışık yayan diyotlar) gibi optoelektronik bileşenler de diyotların bir türüdür ve aydınlatma, ekranlar ve sensörler gibi birçok uygulamada kullanılır.

3.1.4. Optoelektronik Uygulamalar

Yarıiletkenlerin optoelektronik uygulamaları, ışık ve elektrik arasındaki etkileşimi kullanarak farklı türde cihazların geliştirilmesini içerir. Optoelektronik uygulamalar arasında aşağıdakiler bulunur:

Işık Yayan Diyotlar (LED'ler): LED'ler, elektrik enerjisini doğrudan ışığa dönüştüren yarıiletken aygıtlardır. Işık yayan diyot, yapısından bir elektrik akımı geçtiğinde ışık yayan optoelektronik bir cihazdır. Yüksek verimlilikleri, düşük güç tüketimleri ve uzun ömürleri nedeniyle geniş bir aydınlatma ve gösterge paneli uygulamalarında kullanılır. Renkli LED'ler, dekoratif aydınlatma, ekranlar, arka aydınlatma ve trafik işaretlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5 Işık Yayan Diyotlar



Kaynak: (Etkilesimliogrenme 2023).

Lazer Diyotlar: Lazer diyotları, yoğun ve odaklanmış bir ışık demeti üreten yarıiletken cihazlardır. Lazer diyotları, bilgi iletimi, tıbbi tedavi, endüstriyel işlemler, optik depolama, savunma ve güvenlik gibi birçok alanda kullanılır. Optik iletişimde, yüksek hızlı veri iletimi için fiber optik iletişim sistemlerinde önemli bir rol oynarlar.

Fotodiyotlar: Fotodiyotlar, ışığın elektriksel sinyallere dönüştürülmesini sağlayan yarıiletken cihazlardır. Bu cihazlar, foto algılama, ışık ölçümü, optik iletişim ve güneş enerjisi gibi alanlarda kullanılır. Fotodiyotlar, güneş panellerinde güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için de kullanılır.

Optik Sensörler: Yarıiletkenler, ışık düzeylerini algılayabilen ve belirli koşullara tepki gösterebilen optik sensörlerin yapımında kullanılır. Bu sensörler, otomotiv uygulamaları, endüstriyel otomasyon, tıbbi cihazlar, tüketici elektroniği ve güvenlik sistemleri gibi çeşitli alanlarda kullanılır.

Güneş hücreleri: Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu cihazlar, genellikle yarıiletken malzemeler kullanılarak üretilir. Güneş hücrelerinde en yaygın olarak kullanılan yarıiletken malzemeler silikon ve diğer çeşitli malzemelerdir. Güneş hücreleri, elektron-harç boşluk çiftlerinin

güneş ışığının enerjisiyle ayrılması ve bu elektronların bir devre içinde akım üretmek için kullanılması prensibine dayanır.

Güneş hücreleri, elektrik enerjisi üretmek için kullanılabileceği gibi, farklı amaçlarla da kullanılabilir. Örneğin, güneş hücreleri, fotodiyotlar olarak kullanılarak ışık algılama amacıyla kullanılabilir. Birçok güneş hücresi, yüksek verimlilikle güneş ışığını algılayabilir ve elektrik sinyallerine dönüştürebilir. Bu özellik, güneş hücrelerini güneş panellerinde olduğu gibi enerji üretiminde kullanıldığı gibi, otomatik aydınlatma sistemleri, güneş sensörleri ve diğer pek çok uygulamada da kullanılabilir hale getirir.

Güneş hücreleri, enerji dönüşümü ve algılama uygulamalarının yanı sıra, çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bunlar arasında uzay araçları, cep telefonları, evlerde ve iş yerlerinde kullanılan güneş panelleri gibi güneş enerjisi sistemleri, taşıtlar ve daha birçok alanda kullanılan yenilenebilir enerji uygulamaları bulunmaktadır. Güneş hücreleri, sürdürülebilir enerji üretimi ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

Yarıiletkenlerin bu optoelektronik uygulamaları, modern teknolojinin birçok alanında önemli rol oynar ve hayatımızın birçok yönünü etkiler.

3.1.5. Güç Elektroniği ve Termal Uygulamalar

Güç Yarıiletkenleri: Güç elektroniği, elektrik enerjisinin kontrolü, dönüşümü ve dağıtımı ile ilgilenen bir alandır. Yarıiletken cihazlar, güç elektroniği uygulamalarında önemli bir rol oynar. Bu cihazlar genellikle yüksek akım ve gerilim seviyelerinde çalışabilen elektronik cihazlardır. Özellikle, doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) dönüşümü için güç yarıiletkenleri kullanılır. Örneğin, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için kullanılan doğrultucular ve inverterler gibi cihazlar, güç yarıiletkenlerinden faydalanır.

Güç yarıletkenleri, yüksek güç uygulamalarında kullanıldıklarında verimlilik, hız ve güvenilirlik gibi önemli avantajlar sunar. Bu, endüstriyel makinelerden güç sistemlerine ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kadar geniş bir uygulama yelpazesini kapsar.

Termoelektrik Uygulamalar: Termoelektrikler, sıcaklık farklarından elektrik enerjisi üretebilen cihazlardır. Yarıletkenler, termoelektrik jeneratörlerde sıkça kullanılır. Termoelektrik etki, sıcaklığın elektrik akımına dönüştürülmesini sağlar ve bu da sıcaklık farklarının enerji üretiminde kullanılmasını mümkün kılar. Termoelektrik jeneratörler, sıcaklık farkı olan ortamlarda ısıyı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek enerji verimliliğini artırır.

Yarıletkenlerin termoelektrik jeneratörlerde kullanılması, atık ısıdan geri kazanım gibi çeşitli uygulamaları mümkün kılar. Bu da endüstriyel süreçlerde enerji verimliliğini artırabilir ve çevre dostu çözümler sunabilir. Termoelektrikler ayrıca uzay araştırmalarında ve uzay aracı teknolojilerinde de kullanılır, çünkü sıcaklık farklarından güç üretebilme yetenekleri, uzaydaki soğuk ve sıcak bölgeler arasındaki farklardan yararlanılmasına olanak tanır.

Bu yarıletken tabanlı uygulamalar, enerji verimliliğini artırma ve enerji kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanma çabalarının bir parçası olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir.

3.1.6. İleri Teknolojiler ve Araştırma Alanları

Nanoteknolojik Uygulamalar: Nanoyapılar ve ince film teknolojileri, son yıllarda bilim ve teknolojiye devrim niteliğinde gelişmeler sağlamıştır. Bu alanlar, maddenin atomik veya moleküler ölçekte manipülasyonunu içerir ve malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Yarıletkenlerin nanoyapıları ve ince film teknolojileri de bu gelişmelerin önemli bir parçasıdır.

Yarıiletkenlerin nanoyapıları ve ince film teknolojileri, özellikle elektronik, fotovoltaiik, optik, manyetik ve sensör teknolojileri gibi birçok alanda uygulama potansiyeline sahiptir. İnce film teknolojileri, katı hal cihazlarının üretiminde kullanılan bir teknik olup, malzemelerin ince katmanlar halinde depolanması ve işlenmesini içerir. Bu teknik, yarıiletken malzemelerin özelliklerini kontrol etmek ve istenen özelliklere sahip cihazlar üretmek için kritik öneme sahiptir.

Nanoyapılar, malzemelerin boyutları nanometre ölçeğinde olduğunda ortaya çıkan özelliklerin incelenmesini sağlar. Bu boyut ölçeğinde, malzemelerin mekanik, elektriksel, manyetik ve optik özellikleri büyük ölçüde değişebilir. Bu durum, yarıiletkenlerin nanoyapılarının kullanılmasıyla, daha hızlı, daha verimli ve daha küçük boyutlu elektronik cihazların geliştirilmesine olanak tanır.

Bununla birlikte, yarıiletkenlerin nanoyapıları ve ince film teknolojileri, enerji verimliliği ve depolama, çevre dostu teknolojiler, sağlık hizmetlerindeki ilerlemeler ve güvenlik gibi alanlarda da büyük potansiyele sahiptir. Örneğin, nanoyapılar ve ince film teknolojileri, güneş panelleri ve fotoğalvanik hücreler gibi fotovoltaiik teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunarak temiz enerji kaynaklarının kullanımını artırabilir.

Bu araştırmaların gelecekteki uygulamalara etkisi, daha verimli, daha küçük boyutlu, daha hızlı ve daha güvenilir elektronik cihazların geliştirilmesini içerir. Ayrıca, nanoteknoloji ve ince film teknolojileri, tıbbi teşhis ve tedavi yöntemlerinde, çevre dostu üretim tekniklerinde ve enerji depolama sistemlerinde çığır açıcı gelişmeler sağlayabilir. Bu alanlarda yapılan araştırmalar, gelecekte yaşam kalitesini artırmaya ve insanlığın karşılaştığı zorluklara çözüm sunmaya yönelik büyük umutlar vaat etmektedir.

Çip üretimi teknolojileri: bilgi işlem gücünün artması ve elektronik cihazların daha küçük, daha hızlı ve daha güçlü hale gelmesi için temel bir rol oynamaktadır. Yarıiletken endüstrisi sürekli olarak daha küçük ve daha güçlü yonga setleri üretmek için araştırma ve geliştirme faaliyetlerine önemli ölçüde yatırım yapmaktadır. Son yıllarda, bu alandaki gelişmeler oldukça hızlı olmuş ve gelecekteki trendler de bu hızda devam etmesi beklenmektedir.

Yüksek Bant Genişliği ve Düşük Güç Tüketimi: Yarıiletken endüstrisi, daha yüksek bant genişliği sağlayan ve aynı zamanda daha düşük güç tüketen yongaların üretimi üzerinde çalışmaktadır. Bu trend, akıllı telefonlar, bilgisayarlar, yapay zeka sistemleri ve diğer yüksek performanslı cihazların daha verimli çalışmasını sağlar.

3D Entegrasyon ve Heterojen Entegrasyon: Çip üretiminde 3D entegrasyon ve heterojen entegrasyon, farklı fonksiyonlara sahip bileşenlerin tek bir çip üzerinde entegre edilmesini mümkün kılar. Bu, daha küçük boyutlu ve daha karmaşık cihazların üretilmesine olanak sağlar. Ayrıca, farklı teknolojilerin bir araya getirilmesiyle daha fazla işlem gücü ve verimlilik elde edilir.

Optik ve Kuantum Bileşenlerin Entegrasyonu: Optik ve kuantum teknolojilerinin yarıiletken çiplerle entegre edilmesi, veri transfer hızını artırabilir ve işlem gücünü artırarak daha hızlı ve daha verimli işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayabilir.

Yapay Zeka ve Makine Öğrenme Uygulamaları: Yapay zeka ve makine öğrenme uygulamaları için özel olarak tasarlanmış çiplerin geliştirilmesi, bu alandaki talebin artmasıyla son zamanlarda önemli bir trend olmuştur. Bu çipler, daha hızlı veri işleme yetenekleri sağlayarak yapay zeka uygulamalarının gelişimine katkıda bulunur.

Bu trendler, yarıiletken endüstrisindeki son gelişmelerin ve gelecekteki beklentilerin sadece birkaç örneğidir. Çip üretimi teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, elektronik cihazların daha küçük boyutlu, daha güçlü, daha hızlı ve daha enerji verimli hale gelmesine olanak tanırken, birçok sektörde değişimi ve yenilikleri teşvik etmeye devam edecektir.

4. SONUÇ

İşlemciler ve bellekler üzerine odaklanan geliştirmelere odaklanmaktadır. Bu tür gelişmeler, bilgisayarların ve veri merkezlerinin daha hızlı çalışmasını ve daha fazla veri işleme kapasitesine sahip olmasını sağlar. Ayrıca, bu gelişmeler, yapay zeka uygulamaları, nesnelerin interneti, otonom araçlar ve diğer birçok ileri teknoloji alanında büyük bir etki yaratır.

Yarıiletkenlerin kullanım alanları, günümüz teknolojisindeki devrimci etkileri nedeniyle giderek genişlemektedir. İleri teknolojilerdeki hızlı ilerlemeler, yarıiletkenlerin temel özelliklerini daha da geliştirmeye ve çeşitli uygulamalarda daha verimli bir şekilde kullanmaya devam etmektedir. Bu gelişmeler, modern yaşamın birçok yönünü etkileyen akıllı cihazların, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve diğer birçok ileri teknolojinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Yarıiletkenlerin temel özellikleri ve farklı türlerinin geniş kullanım alanları, endüstride ve teknolojiye sürekli olarak daha fazla inovasyon ve gelişme sağlamaktadır. Günümüzde ve gelecekte, yarıiletkenlerin potansiyelinin tam olarak ortaya çıkmasıyla birlikte daha da heyecan verici uygulamaların ve teknolojilerin geliştirilmesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Burns, Gerald. 1990. *Solid State Physics, Academic Press, 1990, 0121460711, 9780121460716, Gerald Burns, 1990.*
<http://www.sciencedirect.com:5070/book/9780121460716/solid-state-physics> (November 2, 2023).
- Etkilesimliogrenme. 2023. “Light Emitting Diode.”
<https://www.etkilesimliogrenme.com/light-emitting-diode-isik-yayan-diyot>.
- Karadeniz Teknik Üniversitesi, Karadeniz. 2023. *Elektronik Anabilim Dalı Elektronik I Dersi Laboratuvarı BJT Karakteristikleri ve Dc Analizi.*
- Mekatronik. 2023. “MOSFET Nedir.”
<https://mekatronik.net/mosfet-nedir/>.
- Othman, Mazin. 2009. 5 “Bazı Yarı İletkenlerin Elektronik, Elastik ve Optik Özelliklerinin Ab İnitio Metodu İle İncelenmesi.”
<http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- Temiz, Mehmet. 2021. “Investigation of Structural, Optical and Electrical Properties of Undoped and Boron Doped Indium Oxide Films Growth by Spray Polysis Technique.” Gaziantep University.

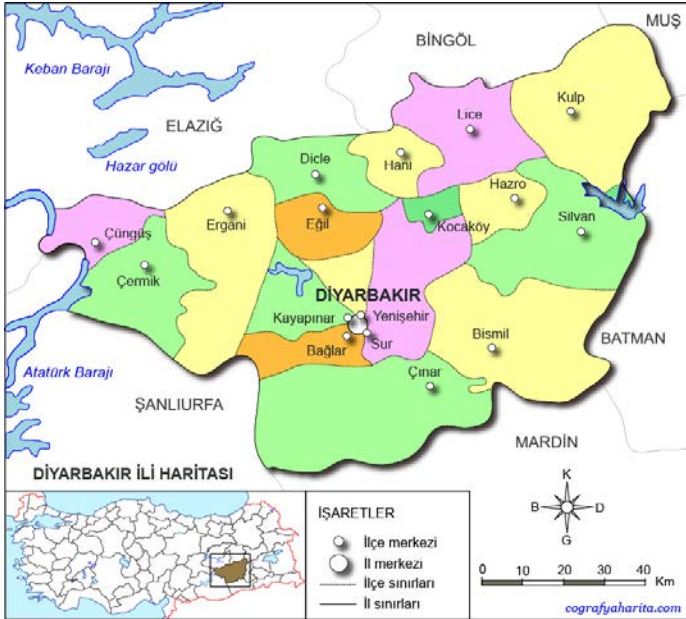
DİYARBAKIR İLİNİN (TÜRKİYE) SUCUL BÖCEK ÇEŞİTLİLİĞİ

Gani Erhan TAŞAR¹

1. GİRİŞ

Diyarbakır ilimiz, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yüzölçümü bakımında büyük, nüfus bakımından kalabalık bir şehridir. Doğu Anadolu'ya kuzeyde sınırdır. Diyarbakır ili 17 ilçeden oluşmaktadır. Bunlar: Bağlar, Bismil, Çermik, Çınar, Çüngüş, Dicle, Eğil, Ergani, Hani, Hazro, Kayapınar, Kocaköy, Kulp, Lice, Silvan, Sur, Yenişehir ilçeleridir (Şekil 1).

Şekil 1. Diyarbakır İl Haritası (Anonim1)



¹ Doç. Dr. Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, erhantasar@adiyaman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9217-0706

Anadolu'nun en eski şehirlerinden biri olan Diyarbakır deniz seviyesinden ortalama 670 metre yüksekliktedir. Şehrin %37'sini dağlar, %31'ini ovalar, %30'unu platolar ve %2'sini yaylalar oluşturmaktadır. Etrafı çok yüksek olmayan dağlarla kaplı olup, ortası çanak şeklindedir. Karasal iklimin hâkim olduğu ilde kışlar soğuk ve sert geçerken; yazlar sıcak ve kuraktır. İlin kuzeyinde yer alan Güneydoğu Toroslar kışın doğudan gelen aşırı soğukları engellemektedir. Doğal bitki örtüsü bozkırdır. Ormanlık alanlar şehrin toplam yüzölçümünün onda biri kadardır. Dicle nehri ve kolları ile sulanan ovalar oldukça verimlidir. Doğal göl bulunmayan Diyarbakır'da yapay göller ve göletler vardır (Anonim2).

Diyarbakır'ın sucul böcek varlığının tespiti üzerine çok fazla detaylı çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmaların ise çoğunlukla kınkanatlılar ve diptera takımları üzerine yapıldığı görülmektedir.

2. SUCUL (AQUATIC) BÖCEKLER

Diyarbakır'dan günümüze kadar altı takıma bağlı birden çok sucul böceğin varlığı kaydedilmiştir. Bunlar yer aldıkları takımlar ile birlikte sırayla aşağıda belirtilmiştir.

2.1.Coleoptera (Kınkanatlılar)

Coleoptera adı, Aristo tarafından, 'koruyucu şey' anlamına gelen 'Coleos' ve 'kanat' anlamına gelen 'ptera' sözcüklerinden türetilmiştir (Resh ve Carde, 2009). Türkçeye kınkanatlılar diye çevrilmiştir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, Diyarbakır'dan bu takımı bağlı 104 sucul taxanın mevcudiyeti ortaya konulmuştur. Bu türlerin listesi: Ertorun ve ark., 2011; Taşar, 2018; Aykut, 2018 yayınlarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

Family Helophoridae Leach, 1815

- 1) *Helophorus aquaticus* (Linnaeus, 1758)
- 2) *Helophorus arvernicus* Mulsant, 1846
- 3) *Helophorus brevipalpis brevipalpis* Bedel, 1881
- 4) *Helophorus brevipalpis levantinus* Angus, 1988
- 5) *Helophorus daedalus* d'Orchymont, 1932
- 6) *Helophorus hilaris* Sharp, 1916
- 7) *Helophorus grandis* (Illiger, 1798)
- 8) *Helophorus nubilus* Fabricius, 1777
- 9) *Helophorus micans* (Faldermann, 1835)
- 10) *Helophorus lewisi* Angus, 1985
- 11) *Helophorus minutus* Fabricius, 1775
- 12) *Helophorus pallidipennis* (Mulsant & Wachanru, 1852)
- 13) *Helophorus subcarinatus* Angus, 1985
- 14) *Helophorus syriacus* Kuwert, 1885

Family Heteroceridae MacLeay, 1825

- 15) *Heterocerus fenestratus* (Thunberg, 1784)

Family Hydraenidae Mulsant 1844

- 16) *Hydraena amidensis* Jäch, 1988
- 17) *Hydraena beyarslani* Jäch, 1988
- 18) *Hydraena helena* Orchymont, 1929
- 19) *Hydraena nilguenae* Jäch, 1988
- 20) *Hydraena subgrandis* Jäch, 1988
- 21) *Hydraena tauricola* Jäch, 1988

- 22) *Limnebius levantinus* Jäch, 1993
- 23) *Limnebius papposus* Mulsant, 1844
- 24) *Limnebius perparvulus* Rey, 1884
- 25) *Limnebius stagnalis* Guillebeau, 1890
- 26) *Ochthebius elisae* Sahlberg, 1900
- 27) *Ochthebius lividipennis* Peyron, 1858
- 28) *Ochthebius ragusae* Kuwert, 1887
- 29) *Ochthebius striatus* (Castelnau, 1840)
- 30) *Ochthebius viridis* Peyron, 1858

Family Hydrochidae Thomson, 1859

- 31) *Hydrochus flavipennis* Kuster, 1852

Family Hydrophilidae Latreille, 1802

- 32) *Anacaena rufipes* (Guillebeau, 1896)
- 33) *Anacaena limbata* (Fabricius, 1792)
- 34) *Paracymus chalceolus* (Solsky, 1874)
- 35) *Enochrus bicolor* (Fabricius, 1792)
- 36) *Enochrus calabricus* (Ferro, 1986)
- 37) *Enochrus halophilus* (Bedel, 1878)
- 38) *Enochrus ochropterus* (Marshall, 1802)
- 39) *Enochrus politus* (Küster, 1849)
- 40) *Enochrus quadripunctatus* (Herbst, 1797)
- 41) *Helochares lividus* (Forster, 1771)
- 42) *Helochares obscurus* (O. F. Müller, 1776)
- 43) *Helochares punctatus* Sharp, 1869

- 44) *Hydrobius fuscipes* (Linnaeus, 1758)
- 45) *Hydrochara caraboides* (Linnaeus, 1758)
- 46) *Hydrochara dichroma* (Fairmaire, 1892)
- 47) *Hydrochara flavipes* (Steven, 1808)
- 48) *Hydrophilus piceus* (Linnaeus, 1758)
- 49) *Laccobius alternus* Motschulsky, 1855
- 50) *Laccobius bipunctatus* (Fabricius, 1775)
- 51) *Laccobius gracilis* Motschulsky, 1855
- 52) *Laccobius halophilus* Gentili, 1982
- 53) *Laccobius hindukuschi* Chiesa, 1966
- 54) *Laccobius simulatrix* d'Orchymont, 1932
- 55) *Laccobius sculptus* d'Orchymont, 1935
- 56) *Laccobius sulcatulus* Reitter, 1909
- 57) *Laccobius sipylus* d'Orchymont, 1939
- 58) *Laccobius syriacus* Guillebeau, 1896
- 59) *Coelostoma orbiculare* (Fabricius, 1775)

Family Dryopidae Billberg, 1820

- 60) *Dryops rufipes* (Krynicky, 1832)

Family Dytiscidae Leach, 1815

- 61) *Agabus bipustulatus* (Linnaeus, 1767)
- 62) *Agabus biguttatus* (Olivier, 1795)
- 63) *Agabus conspersus* (Marsham, 1802)
- 64) *Agabus caraboides* Sharp, 1882
- 65) *Agabus didymus* (Olivier, 1795)

- 66) *Agabus dilatatus* (Brullé, 1832)
- 67) *Agabus nebulosus* (Forster, 1771)
- 68) *Bidessus calabricus* (Guignot, 1957)
- 69) *Bidessus unistriatus* (Goeze, 1777)
- 70) *Colymbetes fuscus* (Linnaeus, 1758)
- 71) *Dytiscus marginalis* (Linnaeus, 1758)
- 72) *Eretes sticticus* (Linnaeus, 1767)
- 73) *Graptodytes veterator* Zimmermann, 1918
- 74) *Hydroporus discretus* (Fairmaire and Brisout, 1859)
- 75) *Hydroglyphus geminus* (Fabricius, 1792)
- 76) *Hydroporus inscitus* (Sharp, 1882)
- 77) *Hydroporus kozlovskii* (Zaitzev, 1927)
- 78) *Hydroporus marginatus* (Duftschmid, 1805)
- 79) *Hydroporus pubescens* (Gyllenhal, 1808)
- 80) *Hydroporus planus* (Fabricius, 1782)
- 81) *Hydroporus transgrediens* (Gschwendtner, 1923)
- 82) *Hydrovatus cuspidatus* (Kunze, 1818)
- 83) *Hydroporus tessellatus* (Drapiez, 1819)
- 84) *Hygrotus armeniacus* (Zaitzev, 1927)
- 85) *Hygrotus confluens* (Fabricius, 1787)
- 86) *Hygrotus impressopunctatus* (Schaller, 1783)
- 87) *Hygrotus inaequalis* (Fabricius, 1777)
- 88) *Hygrotus marklini* (Gyllenhal, 1813)
- 89) *Ilybius fuliginosus* (Fabricius, 1792)

- 90) *Ilybius chalconatus* (Panzer, 1796)
- 91) *Laccophilus poecilus* Klug, 1834
- 92) *Laccophilus minutus* (Linnaeus, 1758)
- 93) *Laccophilus hyalinus* (De Geer, 1774)
- 94) *Nebrioporus airumilus* (Kolenati, 1845)
- 95) *Nebrioporus stearinus* (Kolenati, 1845)
- 96) *Oreodytes davisii davisii* (Curtis, 1831)
- 97) *Platambus lunulatus* (Fischer von Waldheim, 1829)
- 98) *Scarodytes halensis* (Fabricius, 1787)
- 99) *Platambus maculatus* (Linnaeus, 1758)
- 100) *Rhantus suturalis* (W.S. MacLeay, 1825)

Family Gyrinidae Latreille, 1810

- 101) *Gyrinus distinctus* Aubé, 1838

Family Haliplidae Aubé, 1836

- 102) *Peltodytes caesus* (Duftschmid, 1805)
- 103) *Haliphus külleri* Vondel, 1988

Family Noteridae Thomson, 1860

- 104) *Noterus clavicornis* (De Geer, 1774)

2.2.Diptera (İki Kanatlılar)

‘Dipteros’ latince bir kelime olup, ‘iki kanatlılar’ anlamına gelmektedir (Lancaster ve Downes, 2013; Nair ve ark., 2015). İngilizcede ‘true flies’ yani ‘gerçek sinekler’ diye adlandırılmaktadır (Ivkovic ve ark., 2020). Bu canlılar bir çift zarımsı kanada sahiptirler.

Günümüze kadar Diyarbakır’da 33 sucul türün yaşadığı belirtilmiştir. Bu türlerinin listesi; Deniz ve ark., 2023; Çetinkaya ve Bekleyen, 2017; Korkmaz, 2022; Polat ve Çetin, 2020; Kılıç, 1999 yayınlarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

Family Culicidae

- 1) *Culicoides cataneii* Clastrier, 1957
- 2) *Culicoides circumscriptus* Kieffer, 1918
- 3) *Culicoides dzhafarovi* Remm, 1967
- 4) *Culicoides festivipennis* Kieffer, 1914
- 5) *Culicoides gejelensis* Dzhafarov, 1964
- 6) *Culicoides imicola* Kieffer, 1913
- 7) *Culicoides kibunensis* Tokunaga, 1937
- 8) *Culicoides longipennis* Khalaf, 1957
- 9) *Culicoides maritimus* Kieffer, 1924
- 10) *Culicoides montanus* Shakirzjanova, 1962
- 11) *Culicoides newsteadi* Austen 1921
- 12) *Culicoides nubeculosus* (Meigen, 1830)
- 13) *Culicoides obsoletus* (Meigen, 1818)
- 14) *Culicoides odiatus* Austen, 1921
- 15) *Culicoides pictipennis* (Staeger, 1839)
- 16) *Culicoides pulicaris* (Linnaeus, 1758)
- 17) *Culicoides punctatus* (Meigen, 1804)
- 18) *Culicoides puncticollis* (Becker, 1903)
- 19) *Culicoides saevus* Kieffer, 1922
- 20) *Culicoides schultzei* (Enderlein, 1908)

21) *Culicoides trivittatus* Vimmer, 1932

Family Tabanidae

22) *Nemorius caucasicus* Olsufjev, 1971

23) *Chrysops* (s. str.) *flavipes* Meigen, 1804

24) *Haematopota italica* Meigen, 1804

25) *Haematopota pallens* Loew, 1870

26) *Tabanus autumnalis* Linnaeus, 1761

27) *Tabanus bovinus* Linnaeus, 1758

Family Chironomidae

28) *Larsia curticalcar* (Kieffer 1918)

29) *Cricotopus bicinctus* Meigen, 1818

30) *Eukiefferiella brevicalcar* (Kieffer 1911)

31) *Psectrocladius sordidellus* (Zetterstedt 1838)

32) *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758)

Family Muscidae

33) *Musca domestica* Linnaeus, 1758

2.3.Ephemeroptera (Bir Günlük Sinekleri)

‘Ephemeros’ latince bir kelime olup (Lancaster ve Downes, 2013), Türkçe’ye ‘bir gün süren’ olarak çevrilmektedir. Bir günlük sinekleri (dayflies), mayıs sinekleri (mayflies), gölge sinekleri (shadflies) ve balık sinekleri (fishflies) olarak ta adlandırılmaktadırlar (Jacobus ve ark., 2019).

Bugüne kadar Diyarbakır’dan bu takıma ait dokuz sucul türün varlığı ortaya konulmuştur. Bu türlerin listesi; Koch, 1985; Salur ve ark., 2016 çalışmalarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

- 1) *Baetis samochai* Koch, 1981
- 2) *Baetis tricolor* Tshernova, 1928
- 3) *Baetis macrospinosus* Koch, 1985
- 4) *Caenis macrura* Stephens, 1835
- 5) *Procloeon pulchrum* (Eaton, 1885)
- 6) *Oligoneuriella orontensis* Koch, 1980
- 7) *Afronurus madli* Kazanci, 1992
- 8) *Choroterpes picteti* Eaton, 1871
- 9) *Prosopistoma pennigerum* (O.F. Müller, 1785)

2.4.Hemiptera (Yarım Kanatlılar)

Latince ‘hemi’ kelimesi Türkçe ‘yarım’; ‘pteron’ kelimesi ise ‘kanat’ olarak çevrilmektedir. Bu takım ismini taban kısmı sert ve uç kısmı zar gibi olan kanatlarından almaktadır (Lancaster ve Downes, 2013).

Literatürde; Diyarbakır’dan tespit edilen Hemipterlere ait beş sucul türün/alttürün var olduğu görülmektedir. Bu türlerin varlığı: Yazıcı, 2020 çalışmasından yararlanılarak oluşturulmuştur.

- 1) *Patapius spinosus* (Rossi, 1790)
- 2) *Corixa affinis* Leach, 1817
- 3) *Sigara lateralis* (Leach, 1817)
- 4) *Sigara nigrolineata nigrolineata* (Fieber, 1848)
- 5) *Sigara samani tigranes* Jansson, 1986

2.5.Odonata (Yusufçuklar)

‘Odous’ latince kelimesi, Türkçe’ye ‘diş’ olarak çevrilmektedir. Alt çenelerinin tırtıklı ve diş gibi olmasından dolayı bu isim verilmiştir (Lancaster ve Downes, 2013). Halk

arasında “helikopter böcekleri, su bakireleri ve yusufçuklar diye de isimlendirilmektedirler. Bu takımın üyeleri uzun bir abdomene, başın büyük bir kısmını kaplayan iri gözlere, güçlü kanatlara ve renkli bir dış görünüme sahip olmaları nedeniyle diğer sucul böceklerden kolaylıkla ayrılırlar.

Günümüze kadar Diyarbakır’dan bu takıma ait 15 taxanın tespit edildiği bildirilmektedir. Bu türlerin listesi; Ayten ve Özgökçe, 2009; Bolu ve Demir Aydın, 2020; Dumont ve ark., 1988; Kalkman ve ark., 2004; Salur ve Özşaraç, 2004; Schneider, 1985 yayınlarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

- 1) *Aeshna isosceles* (Müller, 1767)
- 2) *Brachythemis fuscopalliata* (Sélys, 1887)
- 3) *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832)
- 4) *Calopteryx splendens* (Harris, 1782)
- 5) *Ischnura elegans* (Vander Linden, 1820)
- 6) *Ischnura pumilio* (Charpentier, 1825)
- 7) *Cercion lindenii* (Sélys, 1840)
- 8) *Orthetrum albistylum* (Sélys, 1848)
- 9) *Orthetrum brunneum* (Fonscolombe, 1837)
- 10) *Orthetrum coerulescens* (Fabricius, 1798)
- 11) *Onychogomphus lefebvreii* (Rambur, 1842)
- 12) *Coenagrion ornatum* (Sélys, 1850)
- 13) *Platycnemis dealbata* Sélys in Sélys & Hagen, 1850
- 14) *Sympetrum fonscolombii* (Sélys, 1840)
- 15) *Platycnemis kervillei* (Martin, 1909)

2.6.Trichoptera (Güve Benzeri Böcekler)

‘Tricho’ latince kelimesi Türkçe’ye ‘saç, tüy, kıl’; ‘pteron’ kelimesi ise ‘kanat’ olarak çevrilmektedir (Lancaster ve Downes, 2013; Sivaramakrishnan ve ark., 2018). Bu ismi dış yüzeylerini kaplayan ipeksi ve uzun kıllardan dolayı almışlardır. (Sivaramakrishnan ve ark., 2018; Lancaster ve Downes, 2013; Morse ve ark., 2019).

Diyarbakır’dan günümüze kadar bu takıma ait iki türün bilinirliği verilmiştir. Bu türlerin listesi; Darılmaz ve Salur, 2015 çalışmasından yararlanılarak oluşturulmuştur.

- 1) *Micropterna coiffaiti* Decamps, 1963
- 2) *Micropterna taurica* Martynov, 1917

3. SONUÇ

Bugüne kadar Diyarbakır ilimizden altı takıma ait 168 sucul böcek türünün/alt türünün bilinirliği ortaya konulmuştur. Bu türler içerisinde yer alan: *Hydraena amidensis* Jäch, 1988 ve *Hydraena nilguenae* Jäch, 1988 türleri ülkemize ve Diyarbakır ilimize endemik olan türlerdir.

Diyarbakır ilimizin kuzeyi dağlarla çevrili olup, ortalama yükseltisi fazladır. Güneyinde ise düz alanlar ve ovalar yer almaktadır. Dicle nehri ve kolları bu geniş düzlüklerin içerisinde geçmektedir. Doğal gölleri bulunmamaktadır. Dicle nehrinin kendisi ve üzerine yapılmış çeşitli baraj ve sulama göletlerinin varlığı, sucul habitatların oluşmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca sönmüş bir volkanik dağ olan Karacadağ gibi yüksek kesimlerde kışın yağan karların bahar aylarında erimeye başlaması ile oluşan birikinti sular da sucul türlerin yerleşmesi ve yaşaması için elverişli habitatları oluşturmaktadır. Karasal iklimin hüküm sürdüğü şehirde yazların sıcak ve kurak olması ise sucul türlerin varlığını sınırlandırmaktadır. Birçok sucul böceğin

ergini uçuş yeteneğine sahiptir. Bu özellikleri ile, kuraklık gibi olumsuz hava koşulları, eş aramak, çoğalmak, yumurtlamak ve/veya beslenmek için bir habitattan diğerine göç edebilirler. Özellikle bahar aylarındaki yağışlar ile oluşan birikinti sular, sucul böceklerin bu yer değiştirme esnasındaki yolculuklarında, onların geçici habitatlarını oluşturabilmektedir. Bu gibi yerlerde sucul türlerin yumurta, larva ve nimflerine de rastlamak mümkün olabilmektedir.

Yaşadıkları habitatlarda, diğer birçok omurgalı ve omurgasız canlıya besin kaynağı olabilen sucul böcekler, sucul ekosistemlerin önemli birer basamağını teşkil etmektedirler. Avcı olarak beslenenler olduğu gibi çürükçül beslenenler de vardır. Bu türler detritus denilen su içerisindeki çürümüş organik materyalleri parçalayarak, madde döngülerinde önemli görevleri yerine getirmektedirler. Başka türler üzerinde asalak olan türler de mevcuttur. Parazit olan bu türler, çeşitli patojenlere vektörlük yapmaları nedeniyle, halk sağlığı açısından sorun oluşturabilmektedirler. Kanibalizm de görülmektedir.

Bazı sucul böcek türleri yeryüzünün farklı coğrafyalarında yaşayan insanlar tarafından direkt ya da dolaylı olarak besin amaçlı tüketilmektedir (Taşar ve Canlı Taşar, 2022).

Bugüne kadar Diyarbakır'dan kolopter ve dipterler dışında diğer sucul böcekler has yapılmış detaylı çalışmaların varlığı belirtilmemiştir. Bütün sucul böcekleri barındıran takımlarında ayrıntılı olarak çalışılması ile Diyarbakır'ın sucul böcek varlığı tam olarak tespit edilebilecektir. Bu çalışma ileride yapılacak çalışmalara bir ön hazırlık olabileceği gibi, bu konu üzerine çalışan çeşitli araştırmacılara da kolaylıklar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Anonim 1. cografyaharita.com. Erişim tarihi: 09.12.2023.
2. Anonim 2. Diyarbakır İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü: <https://diyarbakir.ktb.gov.tr/TR-56881/cografya.html#:~:text=Y%C3%BCz%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC%201516200%2C00%20kilometre%20kare,Ovalar%20tar%C4%B1ma%20elveri%C5%9Fl%C4%B1%20ve%20verimlidir>. Erişim tarihi: 28.11.2023.
3. Aykut, M. 2018. The Diving Beetle Fauna of Diyarbakır and Bingöl Provinces, Turkey (Coleoptera: Dytiscidae) with a New Record. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(1): 65-74.
4. Ayten, Y., ve Özgökçe, M. S. 2009. Van ve Çevresinde Bulunan Odonata Türleri, Yayılışları ve Habitatları. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi* 19:1, 1-9.
5. Bolu, H., Demir Aydın, D. 2020. Diyarbakır İli Odonata Faunası. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3): 1494-1506.
6. Çetinkaya, F., Bekleyen, A. 2017. Spatial and temporal distribution of aquatic insects in the Dicle (Tigris) River Basin, Turkey, with new records. *Turkish Journal of Zoology*, 41(1): 102-112.
7. Darılmaz, M. C., ve Salur, A. 2015. Annotated Catalogue of the Turkish Caddisflies (Insecta: Trichoptera). *Munis Entomology and Zoology* 10:2 521-734.
8. Deniz, A., Korkmaz, C., Bedir, H., Vatansever, Z., İtik Ekinci., A., Sezer, O., Erol, U., Tuncer, S. 2023. Host preferences of vector *Culicoides* (Diptera, Ceratopogonidae, *Culicoides latreille*) species in Türkiye. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Dergisi*.
9. Dumont, H. J., Demirsoy, A., Mertens, J. 1988. Odonata from South-East Anatolica (Turkey) collected in spring, *Notulae Odonatologicae*, 3: 22-26.
10. Ertorun, N., Jäch, M., Kasapoğlu, A., Darılmaz M. C. 2011. Checklist of the Hydraenidae (Coleoptera) of Turkey, with notes on distribution. *Zootaxa* 3055: 22-42.

10. Ivkovic, M., Doric, V., Baranov, V., Mihaljevic, Z., Kolcsar, L-P., Kvifte, G. M., Nerudova, J., and Pont, A. C. 2020. Checklist of Aquatic Diptera (Insecta) of Plitvice Lakes Natinal Park, Croatia, a Unesco World Heritage Site. Zookeys, 918: 99-142.
11. Jacobus, L. M., Macadam, C. R., and Sartori, M. 2019. Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. Insects, 2019-10-170.
12. Kalkman, V. J., Lopau, W., and Van Pelt, G. J. 2004. Hitherto unpublished records of dragonflies from Turkey (Odonata), Libellula (Suppl.) 5, 65-166.
13. Kılıç, A. Y. 1999. Checklist of Tabanidae (Diptera) from Turkey. Turkish Journal of Zoology, 23(2): 123-12.
14. Koch, S. 1985. Eintagsfliegen aus der Türkei und Beschreibung einer neuen Baetis-Art: *B. macrospinosus* n. sp. (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae). Senckenbergiana Biol., 66: 105- 110. Korkmaz, Ç. 2022. Türkiye’de *Culicoides* (DIPTERA: Ceratopogonidae) Türlerinin Dağılımı ve Ekolojik Yaklaşımlar. Doktora tezi.
15. Lancaster, J., and Downes, B. J. 2013. Aquatic Entomology. Oxford University Press. 275pp.
16. Morse, J. C., Frandsen, P. B., Graf, W., and Thomas, J. A. 2019. Diversity and ecosystem services of Tricoptera. Insects. 10: 125.
17. Nair, G. A., Morse, J. C., and Marshall S. A. 2015. Aquatic insects and their societal benefits and risks. Journal of Entomology and Zoology Studies, 3(3): 171-177.
18. Polat, B., Çetin, H. 2020. Toxicity of Thiamethoxam and Piperonyl Butoxide Combination against some Strains of House Fly *Musca domestica* L. (Diptera) in Turkey. Acta Zoologica Bulgarica. 72(2): 321-324.
19. Resh, V. H., and Carde, R. T. 2009. Encyclopedia of Insects. Elsevier/Academic Press, 1132 pp. ISBN: 1849728062, 9781849728065.

20. Salur, A., ve Özşaraç, Ö. 2004. Additional Notes on the Odonata Fauna of Çiçek Dağı (Kırşehir), Turkey. G. U. Journal of Science 17: 1, 11-19.
21. Salur, A., Darılmaz, M.C., and Bauernfeind, E. 2016. An Annotated Catalogue of the Mayfly Fauna of Turkey (Insecta, Ephemeroptera). Zookeys, 620 67-118.
22. Sivaramakrishnan, K. G., Selvakumar, C., and Subramanian, K. A. 2018. Insecta: Tricoptera (Caddisflies). Insect Biodiversity. Chapter 26: 419-428.
23. Schneider, W. 1985. Drogonfly records from SE-Turkey, Senckenbergiana biol., 66(1/3): 67-68.
24. Taşar, G. E. 2018. Contributions to the knowledge of Aquatic Coleoptera Fauna (Dryopidae, Helophoridae, Heteroceridae, Hydrochidae, Hydrophilidae, Gyrinidae, Haliplidae and Noteridae) of Diyarbakır, Mardin and Batman Provinces (Turkey). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 18: 927-936.
25. Taşar, G. E., ve Canlı Taşar, Ö. 2022. İnsan Natural and Technology Sciences, Bölüm Adı: Yenilebilir Sucul Böcekler, Yayın Yeri: Duvar Kitabevi, Editör: Mustafa Tolga Çöğürçü, Mehmet Uzun, Sayfa sayısı: 416, Bölüm Sayfaları: 115-132. ISBN:978-625-8109-01-6.
26. Yazıcı, G. 2020. Overview of the Zoogeographical Distribution of Aquatic and Semi-Aquatic Heteroptera (Hemiptera) in Turkey. Journal of Insect Biodiversity and Systematics. 6(2): 135-155.

ANADOLU'YA ENDEMİK LEUCISCIDAE FAMİLYASINA AİT BAZI TÜRLERİN GÜNCEL SİTOGENETİK DURUMU

Sevgi ÜNAL KARAKUŞ¹

Muhammet GAFFAROĞU²

1. GİRİŞ

Kromozomların incelenmesi anlamına gelen Sitogenetik bilimi ilk olarak 1879 yılında Walter Flemming'in "kromatin" ve "mitoz" kavramlarını tanımlamaya çalışması ile başlamıştır (Flemming, 1879). Heinrich W. Waldeyer 1888 yılında, Gregor Mendel'in (Mendel, 1866) "bağlantılı gruplar" olarak tanımladığı "boyanmış yapı"yı "kromozom" olarak adlandırmıştır (Waldeyer, 1888). Walter Sutton ve Theodor Boveri ise 1902 ve 1903 yıllarında kalıtımın kromozom teorisini öne süren ilk kişiler olmuşlardır (Boveri, 1902; Sutton, 1903). Kromozomların Giemsa boyama, C-Bantlama ve NOR Gümüş Boyama teknikleri ile tespit edilmesi sitogenetiğin temelini oluşturmaktadır.

Kromozom eldesinin ardından mikroskopta görüntülenmesi bakımından Giemsa boyama ile muamele edilmesi klasik boyama ya da konvansiyonel boyama olarak adlandırılmaktadır. Literatürde daha önce sitogenetik incelemesi bulunmayan türlerin ilk kez kromozom sayısı ve yapısının belirlenmesi için temel işlem kromozom boyama çalışmasıdır.

¹ Doç. Dr., Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, sunal@bartin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6409-7783.

² Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, mgaffaroglu@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7436-5828.

Ayrıca bazı türlerde kromozom bantlama uygulanabilir olmadığından bu durumda klasik sitogenetik gerekli olmaktadır (D'Amato ve ark., 1979; Martínez-Lage ve ark., 1994).

Kromozom boyama, ayrıca radyasyon ya da mutajenezin araştırıldığı teşhis uygulamalarında radyasyon ve/veya mutajen maruziyeti sonrasında her metafaz için kromozom kırığı sayısının belirlenmesinde uygulanmaktadır (Natarajan, 2002).

C-bantlama, sentromerler de dahil olmak üzere sitogenetik preparatlarda genomların heterokromatik bölgelerini görselleştirmek için uygulanmaktadır. NOR gümüş boyama ise genomdaki aktif nükleolus organize edici bölge(ler)nin belirlenmesi amacı ile uygulanmaktadır (Weise ve Liehr, 2021).

Her iki teknik de yeni bitki veya hayvan türlerinin karyotipini karakterize etmek için araştırmaya yönelik sitogenetik çalışmalarda başlangıç olarak uygulanmaktadır (Chaiyasan ve ark., 2021). Ayrıca kromozom bantlama teknikleri ile anormal bir kromozom bantlama modeli oluşması durumunda genomun perisentromerik, akrosentrik veya heterokromatik DNA'nın heteromorfizminden kaynaklanıp kaynaklanmadığının tanımlanmasına yardımcı olmaktadır (Liehr, 2023).

Kromozomların standart Giemsa ile boyanması veya kromozom bantlama tekniklerinin uygulanmasından sonra belirli bir büyüklük ve orana göre sınıflandırılarak sıralanmasına "karyotip" denilmektedir. Kromozomlar, sentromer durumuna göre kısa (p) ve uzun kol (q) oranlarının esas alındığı gruplandırma sisteminde p kolun çok kısa olması veya hiç bulunmaması durumunda tek kollu, p ve q kollarının birlikte bulunması durumunda çift kollu olmak üzere (Levan ve ark., 1964) metasentrik (m), submetasentrik (sm), subtelosentrik (st), telosentrik (t), akrosentrik (a) ve bazı türlerde subtelo-akrosentrik (st-a) olarak değerlendirilerek karyotip oluşturulmaktadır.

2. LEUCISCIDAE FAMILİYA BİLGİSİ

Cypriniformes takımında yer alan Leuciscidae Bonaparte 1835 familyası; Pseudaspininae Bogutskaya 1990, Laviniinae Bleeker 1863, Plagopterinae Cope 1874, Leuciscinae Bonaparte 1835, Phoxininae Bleeker 1863, Pogonichthyinae Girard 1858 alt familyaları ile temsil edilmektedir (Fricke ve ark., 2023). Çalışmamıza konu olan Anadolu'da yayılış gösteren Leuciscidae cinsleri ise; *Acanthobrama* Heckel, 1843, *Alburnoides* Jettles, 1861, *Alburnus* Rafinesque, 1820, *Chondrostoma* Agassiz, 1832, *Ladigesocypris* Karaman, 1972, *Petroleuciscus* Bogutskaya, 2002, *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860, *Scardinius* Bonaparte, 1837, *Squalius* Bonaparte, 1837, *Vimba* Fitzinger, 1873 olarak tespit edilmiştir (Çiçek ve ark., 2018).

Ülkemizin tatlısu endemizm oranı oldukça yüksek olmak ile birlikte arazi koşullarının ve balıklarda sitogenetik çalışmaların zorluğu, bu alanda gerçekleştirilen çalışma sayısını sınırlı kılmaktadır. Türler arasındaki akrabalık ilişkilerinin kromozomal düzeyde belirlenebilmesi, türe özgü kromozom sayı ve kromozom bant modellerinin tespit edilebilmesi ve Ülkemizdeki endemik balık biyoçeşitliliğinin azalmadan, yok olmadan sitogenetik özellikleri bakımından literatüre kazandırılması balık sitogenetiği alanını özgün ve önemli kılmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Anadolu'da yayılış gösteren Leuciscidae familyasına ait bazı türlerin güncel sitogenetik durumu literatür taraması ile tespit edilmiştir. Her bir çalışmada balıkların laboratuvara iyi havalandırılmalı akvaryumlarla taşınarak canlı olarak getirildiği ve çalışmalar için etik kurul onayı bildirilmiştir. Elde edilen makalelerde çalışılan türlerin diploid kromozom sayısı (2n), toplam kol sayısı (NF), karyotip morfolojisi, kromozom bantlama

modelleri, kromozom polimorfizm veya heteromorfizm durumları ve varsa eşey kromozomu bilgisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular her bir tür özelinde sunulmuştur.

4. BULGULAR

Anadolu'ya endemik Leuciscidae familyasına ait bazı türlerin güncel sitogenetik bilgileri derlenmiş ve tür isimleri alfabetik sıraya uygun olacak şekilde aşağıda verilmiştir.

***Acanthobrama marmid* Heckel, 1843**

Acanthobrama marmid türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$ olduğu; karyotip morfolojisinin 8 çift m, 13 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; kromozom bantlama özellikleri bakımından NOR gümüş boyama tekniği ile biri orta büyüklükte ve biri küçük olmak üzere iki çift kromozomun kısa kollarının neredeyse tamamında NOR varlığı tespit edildiği, farklılaşmış heteromorfik eşey kromozomlarının olmadığı bildirilmiştir (Gaffaroğlu ve ark., 2006). C-bantlı metafaz plaklarında konstitütif heterokromatin bölgelerin neredeyse bütün kromozomların perisentromer bölgelerinde olmak ile birlikte bir ya da iki sm kromozom çiftinin kısa kollarında lokalize olduğu tespit edilmiştir (Gaffaroğlu ve Yüksel, 2009).

***Acanthobrama mirabilis* (Ladiges, 1960)**

Acanthobrama mirabilis türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 76$ olduğu, karyotip morfolojisinin 5 çift m, 3 çift sm, 5 çift st ve 12 çift a kromozomdan oluştuğu bildirilmiştir. Eşey kromozomu farklılaşması olmadığı için cinsiyet kromozomlarının tespit edilemediği ifade edilmiştir (Uysal, 2011).

***Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782)**

Alburnoides bipunctatus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu, karyotip morfolojisinin 7 çift m, 13 çift sm, 5 çift st kromozomdan oluştuğu; kromozom bantlama özellikleri ele alındığında C-bantlama ile çok sayıda kromozomda sentromerik bantlar; NOR gümüş boyama ile bir çift kromozomun kısa kollarının terminal bölgesinde NOR gözlemlendiği; farklılaşmış eşey kromozomlarının tespit edilmediği bildirilmiştir (Gaffaroğlu ve ark., 2014).

***Alburnus adanensis* (Battalgazi, 1944)**

Alburnus adanensis türünden elde edilen 50 mitotik metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 48$ ve 52 arasında değişkenlik göstermekle birlikte en yüksek oranda (%80) $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu, karyotip morfolojisinin 6 çift m, 14 çift sm ve 5 çift st-a kromozomdan oluştuğu, karyotipteki en uzun kromozom çiftinin st-a kromozom grubunda yer aldığı; kromozom bantlama özellikleri ele alındığında C-bantlama ile konstitutif heterokromatin bölgelerin birçok kromozomun sentromer bölgelerinde ve bazı kromozomların uzun kollarında heterokromatin bloklar olarak lokalize olduğu; NOR gümüş bantlama ile bir çift sm kromozomun kısa kolunun terminal bölgesinde NOR gözlemlendiği bildirilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomu bulunmadığı tespit edilmiştir (Ünal ve Gaffaroğlu, 2016).

***Alburnus escherichii* Steindachner, 1897**

Alburnus escherichii türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu, karyotip morfolojisinin 6 çift m, 12 çift sm ve 7 çift a kromozomdan oluştuğu; kromozom bantlama özellikleri ele alındığında C-bantlama ile üç m (1-3), üç sm (8-11) ve beş a (20, 21, 22, 24, 25) kromozom çiftinde sentromerik ve

perisentromerik bantlar, bir m (4), altı sm (9, 10, 14, 15, 17) ve iki a (19, 23) kromozom çiftinde hafif boyalı sentromerik bant, 11. kromozom çiftinin kısa kolunun tamamında konstitutif heterokromatik bölge; NOR gümüş bantlama ile orta büyüklükte sm kromozom çiftinin (11) kısa kolunun tamamında homomorfik NOR gözlemlendiği bildirilmiştir. Heteromorfik eşey kromozomlarının bulunmadığı tespit edilmiştir (Alpaslan ve Arslan, 2022).

***Chalcalburnus mossulensis* Heckel, 1843**

Chalcalburnus mossulensis türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 48$ olduğu 6 çift m, 10 çift sm ve 8 çift a kromozomdan oluştuğu tespit edilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomları olmadığı bildirilmiştir (Gül ve ark. 2000). *C. mossulensis* türünde gerçekleştirilen diğer bir sitogenetik çalışmada diploid kromozom sayısının $2n = 50$; NF = 88 olduğu, karyotip morfolojisinin 6 çift m, 8 çift sm, 5 çift st ve 6 çift a kromozomdan oluştuğu; kromozom bantlama bakımından biri sm kromozom çiftinin uzun kollarında ve biri sm kromozomun kısa kollarında olmak üzere iki çift NOR gözlemlendiği tespit edilmiştir (Yüksel ve Gaffaroğlu, 2008).

***Chondrostoma beysehirense* (Bogutskaya, 1997)**

Chondrostoma beysehirense türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; NF = 92 olduğu, karyotipin 5 çift m, 16 çift sm-st, 4 çift a kromozomdan oluştuğu; kromozom bantlama özellikleri incelendiğinde kromozomların sentromerik veya perisentromerik C-bantlara sahip olduğu; bir çift sm kromozomda NOR gözlemlendiği bildirilmiştir. Morfolojik olarak farklılaşmış eşey kromozomlarının olmadığı tespit edilmiştir (Arslan ve Gündoğdu, 2016).

***Chondrostoma meandrense* (Elvira, 1987)**

Chondrostoma meandrense türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 52$; $NF = 82$ olduğu, kromozom morfolojisinin 9 çift m, 3 çift sm, 3 çift st ve 11 çift a kromozomdan oluştuğu ve farklılaşmış eşey kromozomlarının bulunmadığı bildirilmiştir (Uysal, 2011).

***Chondrostoma regium* (Heckel, 1843)**

Chondrostoma regium türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 82$ olduğu, karyotip formülünde 9 çift m, 7 çift sm, 1 çift st ve 8 çift t kromozom bulunduğ; bantlama özellikleri bakımından C-bantlı kromozomlarının 1., 6., 13. ve 16. kromozomlar; NOR gümüş boyama ile NOR'ların 21. kromozomda lokalize olduğunu ve eşey kromozomlarının bulunmadığını bildirmişlerdir (Yamaç ve Şişman, 2023).

***Pseudophoxinus alii* Küçük, 2007**

Pseudophoxinus alii türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotip morfolojisinin 9 çift m, 12 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğ; C-bantların birçok kromozomun perisentromerik bölgesinde gözlemlendiğ; NOR gümüş boyama ile sayısı bir ve sekiz aralığında değışen çoklu NOR sayı polimorfizmi tespit edilmiştir. Eşey kromozomunun bulunmadığı bildirilmiştir (Gaffaroğlu ve ark., 2022).

***Pseudophoxinus antalyae* Bogustkaya, 1992**

Pseudophoxinus antalyae türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotip morfolojisinin 8 çift m, 7 çift sm, 6 çift st ve 4 çift a kromozomdan oluştuğ; C-bant ve G-bantlama ile birçok kromozomda heterokromatin varlığının tespit edildiğ; NOR

gümüş bantlama ile bir çift st kromozomun kısa kollarında NOR'ların gözlemlendiği bildirilmiştir (Ergene ve ark., 2010).

***Pseudophoxinus battalgilae* Bogutskaya, 1997**

Pseudophoxinus battalgilae türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 94$ olduğu, karyotip formülünün 8 çift m, 14 çift sm ve 3 çift st-a kromozomdan oluştuğu; birçok kromozomun sentromer bölgesinde C-bantlama ile konstitütif heterokromatin bölgelerin tespit edildiği; NOR gümüş boyama ile çoğunluğu iki ve dört kromozomlu olmak üzere NOR sayı polimorfizminin gözlemlendiği ancak genellikle iki çift sm kromozomun kısa kollarının telomer bölgesinde NOR'ların bulunduğu, eşeye bağlı kromozom farklılaşmasının tespit edilmediği bildirilmiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus burduricus* Küçük, Gülle, Güçlü, Çiftçi ve Erdoğan, 2013**

Pseudophoxinus burduricus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 94$ olduğu, karyotipin 9 çift m, 13 çift sm ve 3 çift st-a kromozomdan oluştuğu; birçok kromozomun sentromer bölgesinde C-bantlama ile konstitütif heterokromatin bölgelerin tespit edildiği; bir çift orta büyüklükte sm kromozomda NOR'ların gözlemlendiği ve farklılaşmış eşey kromozomlarının bulunmadığı ifade edilmiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus crassus* (Ladiges, 1960)**

Pseudophoxinus crassus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotip formülünün 6 çift m, 15 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C-bantlama ile heterokromatik blokların birçok kromozomun perisentromerik bölgesinde bulunduğu; NOR'ların bir çift sm kromozomun kısa kollarının sekonder

bölgesinde yer aldığı ifade edilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomlarının tespit edilmediği bildirilmiştir (Ünal ve ark., 2014).

***Pseudophoxinus egridiri* (Karaman, 1972)**

Pseudophoxinus egridiri türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotip formülünün 7 çift m, 14 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C-bantlama ile heterokromatik blokların bazı kromozomların perisentromerik bölgesinde bulunduğu tespit edilmekle birlikte heterokromatin bölgelerin birçok kromozomda gözlemlendiği; bir çift orta büyüklükte sm kromozomda NOR'ların tespit edildiği ve farklılaşmış eşey kromozomlarının bulunmadığı bildirilmiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus elizavetae* Bogutskaya, Küçük & Atalay, 2007**

Pseudophoxinus elizavetae türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotipin 4 çift m, 17 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C-bantların bazı kromozomların (1., 2., 17. ve 22.) perisentromerik bölgelerinde lokalize olduğu; NOR gümüş boyama ile sayısı bir ve altı aralığında değişen çoklu NOR sayı polimorfizmi bulunduğu, farklılaşmış eşey kromozomunun tespit edilmediği bildirilmiştir (Gaffaroğlu ve ark., 2022).

***Pseudophoxinus evliyaie* Freyhof & Özuluğ, 2009**

Pseudophoxinus evliyaie türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 94$ olduğu, karyotip formülünün 7 çift m, 15 çift sm ve 3 çift st-a kromozomdan oluştuğu; birçok kromozomun sentromerinde konstitüif heterokromatin bölgelerin bulunduğu; orta büyüklükte iki sm kromozom çiftinin kısa kollarında NOR'ların

gözlemlendiği bildirilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomu tespit edilmemiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus fahrettini* Freyhof & Özuluğ, 2009**

Pseudophoxinus fahrettini türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotipin 8 çift m, 13 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C- bantlama ile birçok kromozomda heterokromatin bölgelerin tespit edildiği, heterokromatik blokların ise bazı kromozomların perisentromerik bölgesinde bulunduğu; bir çift orta büyüklükte sm kromozomda NOR'ların tespit edildiği ve farklılaşmış eşey kromozomlarının bulunmadığı bildirilmiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus firati* Bogutskaya, Küçük & Atalay, 2007**

Pseudophoxinus firati türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 88$ olduğu, karyotipin 19 çift m-sm ve 6 çift st kromozomdan oluştuğu; C-bantlama ile 6 çift kromozomun perisentromerik bölgelerinde heterokromatin tespit edildiği; NOR'ların 2 çift kromozomda gözlemlendiği ve eşey kromozomlarının tespit edilmediği bildirilmiştir (Karasu ve ark., 2011).

***Pseudophoxinus hittitorum* Freyhof & Özuluğ, 2010**

Pseudophoxinus hittitorum türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu, karyotip morfolojisinin 7 çift m, 13 çift sm ve 5 çift st-a kromozomdan oluştuğu, C-bantlama ile birçok kromozom çiftinin perisentromerik bölgesinde konstitütif heterokromatik blokların tespit edildiği; NOR gümüş boyama ile bir çift sm kromozomun kısa kollarının sekonder kısmında NOR'ların gözlemlendiği ve eşey kromozom farklılaşmasının olmadığı bildirilmiştir (Ünal ve ark., 2014).

***Pseudophoxinus maeandri* (Ladiges, 1960)**

Pseudophoxinus maeandri türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu, karyotip morfolojisinin 5 çift m, 16 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C- bantlama ile birçok kromozomun sentromer bölgesinde heterokromatin tespit edildiği; orta büyüklükte iki sm kromozom çiftinin kısa kollarının terminal bölgesinde NOR'ların gözlemlendiği bildirilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomu bulunmadığı ifade edilmiştir (Ayata ve ark., 2016).

***Pseudophoxinus zekayi* Bogutskaya, Küçük ve Atalay, 2006**

Pseudophoxinus zekayi türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 92$ olduğu; karyotipin 8 çift m, 13 çift sm ve 4 çift st-a kromozomdan oluştuğu; kromozomların çoğunda C-bant bulunmakla birlikte bazı kromozomların uzun kollarında heterokromatik blokların lokalize olduğu; NOR gümüş boyama ile %61 iki NOR, %14 üç NOR ve %25 dört NOR tespit edilmiş olmak üzere NOR polimorfizmi olduğu ifade edilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomlarının belirlenmediği bildirilmiştir (Ünal ve Gaffaroğlu, 2016).

***Squalius anatolicus* (Bogutskaya, 1997)**

Squalius anatolicus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu; karyotip formülünün 7 çift m, 13 çift sm ve 5 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C-bantlama ile birçok kromozomun perisentromer bölgesinde konstitütif heterokromatin blokların bulunduğu; NOR gümüş boyama ile bir çift sm kromozom çiftinin kısa kollarının terminalinde NOR'ların lokalize olduğu ve morfolojik olarak farklılaşmış eşey kromozomlarının bulunmadığı bildirilmiştir (Ünal ve Gaffaroğlu, 2021).

***Squalius cappadocicus* Özuluğ ve Freyhof, 2011**

Squalius cappadocicus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu; karyotip morfolojisinin 7 çift m, 6 çift sm, 7 çift st ve 5 çift a kromozomdan oluştuğu; standart C-bant ve CB-DAPI uygulamaları ile C-bantların iki kollu ve akrosentrik kromozomlarda sentromerik ve perisentromerik konumlu olarak gözlemlendiği; NOR gümüş boyama ile farklı kromozomlarda hemizigot olarak 3 NOR bölgesinin tespit edildiği ve eşey kromozom farklılaşmasının bulunmadığı ifade edilmiştir (Doori ve Arslan, 2023).

***Squalius carinus* Özuluğ ve Freyhof, 2011**

Squalius carinus türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 94$ olduğu; karyotip morfolojisinin 12 çift m, 10 çift sm ve 3 çift st-a kromozomdan oluşmakla birlikte metafazdaki en büyük kromozomun st-a kromozom çifti olduğu; C-pozitif heterokromatinin birçok kromozomun perisentromerik bölgesinde gözlemlendiği, 23. ve 25. kromozomlarda heterokromatik blokların bulunduğu; NOR pozitif kısımların bir çift sm kromozomun kısa kolunun terminalinde lokalize olduğu ve eşey kromozom farklılaşmasının bulunmadığı bildirilmiştir (Ayata, 2020).

***Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)**

Squalius cephalus türünde Türkiye’de gerçekleştirilen iki farklı çalışmada elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$ olmak üzere Pekol ve Arslan (2014)’ın çalışmasına göre $NF = 80$; karyotip morfolojisinin 9 çift m, 6 çift sm ve 10 çift st-a kromozomdan oluştuğu, Kiliç ve Şişman (2016)’ın çalışmasına göre ise karyotipin 5 çift m, 11 çift sm, 5 çift st ve 4 çift a kromozomdan oluştuğu bildirilmiştir.

***Squalius fellowesii* (Günther, 1868)**

Squalius fellowesii türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 90$ olduğu; karyotipin 10 çift m, 10 çift sm ve 5 çift st-a kromozomdan oluştuğu; C-bantlama ile birçok kromozomda perisentromer lokalizasyonlu heterokromatin bölgeler; NOR gümüş boyama ile bir çift sm kromozomun kısa kollarının terminal bölgesinde NOR gözlemlendiği bildirilmiştir. Heteromorfik eşey kromozomları tespit edilememiştir (Ayata, 2020).

***Squalius orientalis* Heckel, 1847**

Squalius orientalis türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 84$ olduğu, karyotip morfolojisinin 7 çift m, 10 çift sm, 8 çift st-a kromozomdan oluştuğu bildirilmiştir. Farklılaşmış eşey kromozomları tespit edilmemiştir (Kılıç-Demirok, 2000).

***Squalius recurvirostris* Özuluğ ve Freyhof, 2011**

Squalius recurvirostris türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$, eşey durumuna göre erkek bireylerde $NF = 88$, dişi bireylerde $NF = 90$ olduğu; karyotipinin 6 çift m, 9 çift sm, 5 çift st ve 4 çift a kromozomdan oluştuğu; C-bantların bazı iki kollu ve akrosentrik kromozomlarda sentromer konumlu iken, bazı kromozomlarda sentromerik ve perisentromerik pozisyonlu olduğu; NOR gümüş boyama ile biri 9. kromozomun uzun kolu, diğeri 12. kromozomun kısa kolu olmak üzere iki farklı aktif NOR tespit edildiği bildirilmiştir. Eşey kromozomları bakımından ZZ/ZW eşey sistemine sahip olduğu ifade edilmekle birlikte çalışılan dişi ve erkek bireylerden oluşturulan karyotip morfolojisinde eşey kromozomları gösterilmiştir (Doori ve Arslan, 2022).

***Squalius seyhanensis* Turan, Kottelat ve Doğan, 2013**

Squalius seyhanensis türünden elde edilen metafaz kromozomlarında diploid kromozom sayısının $2n = 50$; $NF = 94$ olduğu; karyotip morfolojisinin 8 çift m, 14 çift sm ve 3 çift st-a kromozomdan oluştuğu; Konstitütif heterokromatin bölgelerin birçok kromozomun sentromerik, perisentromerik ve parasentromerik bölgelerinde lokalize olduğu; NOR'ların bir çift sm kromozomun kısa kollarının terminal bölgesinde görüntülediği ve farklılaşmış eşey kromozomlarının tespit edilmediği ifade edilmiştir (Ünal ve Gaffaroğlu, 2016).

5. SONUÇ

Anadolu'ya endemik Leuciscidae familyasına ait bazı türlerde gerçekleştirilen sitogenetik çalışmalar incelendiğinde, diploid kromozom sayısı $2n = 48-52$ kromozom değişkenliğinde olmakla birlikte türlerin çoğunluğunun diploid kromozom sayısının $2n = 50$ olduğu, sadece bir tür dışında farklılaşmış eşey kromozomlarına rastlanmadığı belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Alpaslan, Z., Aslan, A. (2022). Cytogenetic Analysis of *Alburnus escherichii* (Teleostei: Leuciscidae) in Turkey. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(2), 297-304. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.876754>.
- Arslan, A., Gündoğdu, H. (2016). Cytogenetic studies on the endemic Beyşehir nase, *Chondrostoma beysehirense* (Bogutskaya, 1997) in Turkey. Caryologia, 69(2), 116-120. doi: 10.1080/00087114.2015.1109958

- Ayata, M. K. (2020). Comparative cytogenetics of two *Squalius* Bonaparte, 1837 species (Cypriniformes: Leuciscidae). Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, 44(2), 355-360.
- Ayata, M. K., Yüksel, E., Gaffaroğlu, M. (2016). Cytogenetic studies on six species of the leuciscine genus *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860 (Teleostei, Cyprinidae). Caryologia, 69(3), 215-222.
- Boveri, T. (1902). Über mehrpolige Mitosen als Mittel zur Analyse des Zellkerns. Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft Würzburg 35, 67–90.
- Chaiyasan, P., Mingkwan, B., Jantararat, S., Suwannapoom, C., Cioff, M.d.B., Liehr, T.; Talumphai, S., Tanomtong, A., Supiwong, W. (2021). Classical and molecular cytogenetics of *Belontia hasselti* (Perciformes: Osphronemidae): Insights into the ZZ/ZW sex chromosome system. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 22(2), 546–554.
- Çiçek, E., Fricke, R., Sungur, S., Eagderi, S. (2018). Endemic freshwater fishes of Turkey. FishTaxa, 3(4), 1-39.
- D'Amato, G., Bianchi, G., Capineri, R., Marchi, P. (1979). N-band staining in plant chromosomes with a HCl-Giemsa technique. Caryologia, 32(4), 455–459.
- Doori, A. S. J., Arslan, A. (2022). Karyotypes and ZZ/ZW sex chromosome system of endemic *Squalius recurvirostris* (Leuciscinae, Cyprinidae) in Turkey. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(4), 649-657. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.915278>
- Doori, A. S. J., Arslan, A. (2023). Cytogenetic characteristics of endemic *Squalius cappadocicus* Özuluğ and Freyhof,

- 2011 in Türkiye. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 40(1), 51-55.
<https://doi.org/10.12714/egejfas.40.1.07>
- Ergene, S., Karahan, A., Kuru, M. (2010). Cytogenetic analysis of *Pseudophoxinus antalyae*, Boguskaya, 1992 (Pisces: Cyprinidae) from the eastern Mediterranean river basin, Turkey. Turkish Journal of Zoology, 34(1), 111-117.
- Flemming, W. (1879). Beitrage zur Kenntniss der Zelle und ihrer Lebenserscheinungen. Archiv für mikroskopische Anatomie, 16(1), 302-436.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., R. van der Laan (eds) (2023). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References.
(<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Electronic version accessed 20.12.2023.
- Gaffaroğlu, M., Ayata, M. K., Unal Karakus, S. (2022). Cytogenetic Characteristics of Two Species of the Genus *Pseudophoxinus* Bleeker, 1860 (Cypriniformes: Leuciscidae) from Anatolia, Turkey. Acta Zoologica Bulgarica, 74(3).
- Gaffaroğlu, M., Ayata, M. K., Ünal, S., Kalkan, E. (2014). *Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782)(Actinopterygii, Cyprinidae)'un kromozomal özellikleri. Caucasian Journal of Science, 1(1), 37-42.
- Gaffaroğlu, M., Yuksel, E., Ráb, P. (2006). Note on the karyotype and NOR phenotype of leuciscine fish *Acanthobrama marmid* (Osteichthyes, Cyprinidae). Biologia, 61(2), 207-209.
- Gaffaroğlu, M., Yüksel, E. (2009). Constitutive heterochromatin in *Acanthobrama marmid* and *Cyprinion macrostomus*

- (Osteichthyes, Cyprinidae). Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 15 (2), 169-172.
- Gül, S., Çolak, A., Sezgin, İ. (2000). Gümüş Balığı'nda (*Chalcalburnus mossulensis* Heckel, 1843) karyotip analizi. Turkish Journal of Biology, 24(3), 657-662.
- Karasu, M., Yüksel, E., Gaffaroğlu, M. (2011). Karyotype, NORs, and C-banding analysis of *Pseudophoxinus firati* Bogutskaya, Küçük & Atalay, 2007 (Actinopterygii, Cyprinidae) in the Euphrates River, Turkey. Turkish Journal of Zoology, 35(6), 865-868.
- Kılıç Demirok, N. (2000). Dicle su sisteminde yaşayan bazı cyprinid tür ve alttürlerinin kromozomları üzerine çalışmalar. PhD, University of Dicle, Diyarbakır, Turkey.
- Kiliç, D., Şişman, T. (2016). Karyotype analysis of chub, *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)(Teleostei: Cyprinidae) from Karasu River, Erzurum, Turkey. Caspian Journal of Environmental Sciences, 14(2), 95-103.
- Levan, A., Fredga, K., Sandberg, A. A. (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas, 52(2), 201-220. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1964.tb01953.x>
- Liehr, T. Cases with heteromorphisms. <http://cs-tl.de/DB/CA/HCM/0-Start.html> [accessed on 20/12/2023].
- Martínez-Lage, A., Gonzalez-Tizon, A., Méndez, J. (1994). Characterization of different chromatin types in *Mytilus galloprovincialis* L. after C-banding, fluorochrome and restriction endonuclease treatments. Heredity, 72(3), 242-249.

- Mendel, G. (1866). Versuche über Pflanzen-Hybriden. Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn 4, 3–47. doi:10.5962/bhl.title.61004
- Natarajan, A. T. (2002). Chromosome aberrations: past, present and future. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 504(1-2), 3-16.
- Pekol, S., Arslan, O. (2014). *Squalius cephalus* (L., 1758)'un nor fenotipi ve sucul ortam ekotoksikolojik çalışmalar açısından değerlendirilmesi (Kastamonu Beyler Barajı popülasyonu). Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 2(1), 23-28.
- Sutton, W. S. (1903). The chromosomes in heredity. The Biological Bulletin, 4(5), 231-250. doi:10.2307/1535741.
- Unal, S., Gaffaroğlu, M. (2016). Karyology of six cyprinid fishes from Seyhan and Ceyhan rivers in Anatolia. Caryologia, 69(4), 362-369.
- Unal, S., Gaffaroğlu, M., Ayata, M. K., Yüksel, E. (2014). Karyotype, C-banding and AgNORs of two endemic leuciscine fish, *Pseudophoxinus crassus* (Ladiges, 1960) and *P. hittitorum* Freyhof & Özulug, 2010 (Teleostei, Cyprinidae). Comparative Cytogenetics, 8(4), 249. doi: 10.3897/CompCytogen.v8i4.7623
- Uysal, U. E. (2011). Büyük Menderes nehrinden yakalanan *Chondrostoma meandrense* (Elvira, 1987) ve *Acanthobrama mirabilis* (Ladiges, 1960)(Cyprinidae)'in karyotip analizi (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ünal Karakuş, S., Gaffaroğlu, M. (2021). Karyotype, C-band and NOR phenotype of Anatolian endemic fish *Squalius anatolicus* (Bogutskaya, 1997) (Teleostei, Leuciscidae).

Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 38(3), 311-315. doi: 10.12714/egejfas.38.3.07

Waldeyer, W. (1888). Über Karyokinese und ihre Beziehungen zu den Befruchtungsvorgängen. Archiv für mikroskopische Anatomie, 32(1), 1-122. doi:10.1007/bf02956988

Weise, A., Liehr, T. (2021). Cytogenetics. In: Cytogenomics; Liehr, T., Ed. Academic Press, London, pp. 25–34.

Yamaç, B., Şişman, T. (2023). Karyotypic analysis of *Chondrostoma regium* (Teleostei: Leuciscidae) distributed in the Karasu River (Erzurum). Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 40(1), 62-68. 10.12714/egejfas.40.1.09

Yüksel, E., Gaffaroğlu, M. (2008). The analysis of nucleolar organizer regions in *Chalcalburnus mossulensis* (Pisces: Cyprinidae). Journal of Fisheries Sciences. com, 2(4), 587-591.

BİTKİSEL BİLEŞENLERİN MİKRODALGA DESTEKLİ EKSTRAKSİYONUNDAKİ GELİŞMELER

Zafer Ömer ÖZDEMİR¹

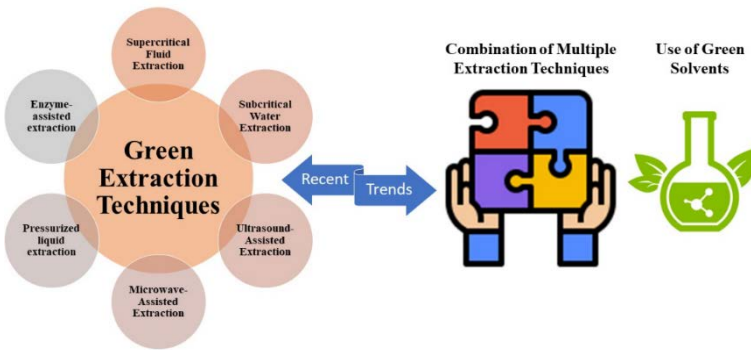
1. GİRİŞ

Ekstraksiyon (özütleme) olarak adlandırılan süreç, çeşitli çözücülerin kullanımıyla çözünür maddelerin çözünmeyen kalıntılardan ayrılmasını içerir, bu kalıntılar hem katılar hem de sıvılar şeklinde olabilir (Hu ve diğerleri, 2019; Pawlaczyk-Graja, Balicki ve Wilk, 2019). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, bir bitki içinde biyoaktif özellik gösteren pek çok ikincil metabolit bulunabilmektedir. Örneğin, antikanser bitki bileşikler olan vincristine, vinblastine ve taxol gibi maddeler, dünya genelinde ilaç olarak geniş bir tanınırlık ve güven kazanmıştır (Pangarkar, 2008). Ekstraksiyon yönteminin performansını artırmanın gerekliliği gün geçtikçe daha iyi anlaşılmaktadır (Barzegar ve diğerleri, 2019; Hu ve diğerleri, 2019; Pangarkar, 2008; Pawlaczyk-Graja ve diğerleri, 2019; Rocchetti ve diğerleri, 2019; Vivekananda Mandal, Yogesh Mohan ve S. Hemalatha, 2007; Zhong, Li, Luo ve Zhu, 2019). Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon (MDE) yaklaşımı, geniş bir örnek yelpazesi için kullanılmaktadır, bunlar arasında biyolojik, çevresel ve jeolojik matrisler bulunmaktadır. Şu anda, mikrodalga ekstraksiyonu bitki materyallerinden biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyon için bir yöntem olarak geniş bir kabul görmüş ve araştırma geliştirme sektöründe önemli bir ilgi çekmiştir. Bu yöntem, bitkisel

¹ Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Eczacılık Fakültesi, ozdemirz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8362-3136.

materyallerden, maddelerin hızlı bir şekilde geri alınmasına izin verir ve geleneksel yöntemlerle benzer bir verimlilik düzeyine sahiptir. Ayrıca, çözücülerin az kullanımı, minimal atık üretimi, zararlı çözücülerin çevreye az salınımı ve insanların çözücülere maruz kalma riskinin azalması gibi avantajlar sunar (Okolie, Mason, Mohan, Pitts ve Udenigwe, 2019; Samad ve diğerleri, 2019). Yaygın olarak kullanılan ekstraksiyon yöntemleri arasında Soxhlet ekstraksiyonu, soğuk maserasyon, çözücü permeasyonu, turbo-hızlı karıştırma ve ultra-sonikasyon bulunmaktadır. Bu teknikler uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bahsedilen ekstraksiyon süreçlerinin, uzun süre ve önemli miktarda çözücü gereksinimi bulunmaktadır. Ayrıca, bu konvansiyonel yöntemlerle biyoaktif kimyasalların yüksek saflıkta elde edilmesi de önemli bir sorundur (Bagade ve Patil, 2021; Nabet ve diğerleri, 2019).

Şekil 1. Farklı Türde Ekstraksiyon Teknikleri



Kaynak: (Usman, Nakagawa ve Cheng, 2023)

MDE, karmaşık bitkisel karışımlardan biyoaktif kimyasalların ekstraksiyonu için kısaltılmış ekstraksiyon süresi, azaltılmış çözücü kullanımı ve termolabil bileşenlere artan dikkat gibi avantajlar sunan yeni etkili ve yaygın olarak kullanılan bir ekstraksiyon yöntemidir. Bu teknoloji, genellikle yeni bir ekstraksiyon yöntemi olarak adlandırılan, standart ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla oldukça popüler hale gelmiştir (Chaturvedi,

2018; Jesus ve diğerleri, 2019; Liu, Yang, Zhou, Wen ve Dong, 2019; Quiroz ve diğerleri, 2019). Verimliliği ve çevresel avantajları nedeniyle yeşil bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Ekezie, Sun ve Cheng, 2017; Nüchter, Ondruschka, Bonrath ve Gum, 2004; Zhou, Xiao, Li ve Cai, 2011). Bu çalışma, biyoaktif kimyasalların ekstraksiyonu için mikrodalga ekstraksiyonunun uygulamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

2. MİKRODALGA DESTEKLİ EKSTRAKSİYON (MDE): GENEL BAKIŞ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Analitik laboratuvarlarda mikrodalga (MW) dielektrik ısınmanın kullanımı, 1970'li yılların sonlarında başlamıştır. Mikrodalga enerjisinin ekstraksiyon için kullanımı ilk kez 1986'da belgelenmiştir (Ganzler, Salgó ve Valkó, 1986). MAE sistemi, 0,1 cm ile 100 cm arasında değişen frekanslarda (300 MHz ile 300 GHz) elektromanyetik dalgaları ve 0,001 ile 1 metre arasında dalga boylarını üretir (Gong ve Bassi, 2016). Mikrodalga destekli ekstraksiyon, mikrodalga radyasyonunun frekansının yaklaşık 2.45 GHz (12 cm) olduğu bir süreçtir. Mikrodalga cihazları üzerine açılması gereken deliğin çapı 12 cm'den küçük olmalıdır. Bu süreçte mikrodalga radyasyonu, ıslak biyokütle veya belirli bir örnekten su gibi polar molekülleri ısıtmak ve ekstrakte için kullanılır. (Kadam, Tiwari ve O'Donnell, 2013). Mikrodalga ısınması, elektromanyetik dalgaların soğurulması ve ışınlanan ortamda ısıya dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Dielektrik özellikler ve ortalama elektrik alan, gücün dağılmasında etkili olur. Mikrodalgalar, nemli biyokütledeki su ve diğer polar moleküllerin salınımını indükler, bu da hücrelerin içindeki sıvılardaki sıcaklığın artmasına neden olur. Bu sıcaklık artışı, sudaki buharlaşmayı tetikler ve hücre duvarlarına kuvvet uygular, sonuç olarak hücrelerin parçalanmasına yol açar (Hahn, Lang,

Ulber ve Muffler, 2012). Ayrıca, mikrodalga enerjisi hidrojen bağlarını yok eder ve çözülmüş iyonların hareketini tetikler, bu nedenle çözücünün örneğe daha iyi nüfuz etmesini sağlar (Kadam ve diğerleri, 2013). Suyun yüksek dielektrik sabiti, mikrodalga ısınmasıyla hücre duvarlarına termal enerjinin daha etkili bir şekilde iletilmesini sağlar (Hou, Quan ve Pan, 2020). Mikrodalga ısınması, geleneksel ısıtma yöntemlerinin aksine termal iletim veya konveksiyon akımlarıyla sınırlı değildir. Bu, sıcaklığın daha hızlı bir şekilde artmasına olanak tanır (Chemat ve diğerleri, 2017). Malzemenin mikrodalgaya maruz kaldığında ulaştığı sıcaklığın üst sınırı, ısı kaybının hızı ve sağlanan güç miktarı tarafından belirlenir (Chemat ve diğerleri, 2017). Mikrodalgaların iki temel kategorisi vardır: kapalı ve açık kaplar. Kapalı kap teknikleri, sıcaklık ve basıncın hassas bir şekilde düzenlenmesine dayanırken, açık kap sistemleri sadece örneği içeren ekstraksiyon kabının bir kısmını mikrodalga ısınlamaya maruz bırakır (Tatke ve Jaiswal, 2011). Ayrıca mikrodalga cihazları hacimleri bakımından ev tipi cihazlarda olduğu gibi çoklu mod (geniş hacimli) ve laboratuvarlarda kullanılan mono mod (küçük hacimli) olarakta sınıflandırılabilir. Son zamanlarda, çeşitli bitki ve meyvelerden uçucu yağları elde etmek için laboratuvar ölçeğinde çözücü içermeyen mikrodalga hidrodistilasyon (SFME) tekniği kullanılmıştır. SFME, mikrodalga ısınma ve atmosfer basıncında damıtma kullanır, bu da atmosfere önemli ölçüde daha düşük CO₂ emisyonlarına yol açar (önceki işlemlerde 3600 g CO₂/g uçucu yağa karşı 200 g CO₂/g uçucu yağ). (Zill-e-huma, 2010). Mikrodalga Hidrodiffüzyon ve Yerçekimi (MHG), mikrodalga ısınma ve atmosfer basıncında yerçekimi kuvvetini kullanarak uçucu yağları ekstrakte etmek için kullanılan bir prosedürdür. Bu yöntem, ekstraksiyon sürecindeki en enerji yoğun adımlar olan damıtma ve buharlaşma ihtiyacını ortadan kaldırır. MW ekstraksiyonunun verimliliği, mikrodalga gücü, sıcaklık ve kullanılan çözücünün özellikleri ve miktarları gibi

birçok önemli işletme faktöründen etkilenir (Gong ve Bassi, 2016; Kapoore, Butler, Pandhal ve Vaidyanathan, 2018).

3. MİKRODALGA KULLANARAK BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN EKSTRAKSİYONU

Doğal ürünler arasında proteinler, diyet lifleri, yağlar ve yağlar, karbonhidratlar ve antioksidanlar gibi bileşenler, insan sağlığı, beslenme üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Choi ve Verpoorte, 2019). Yıllardır, bitkilerden, hayvanlardan ve mikroorganizmalardan elde edilen bu kimyasallar, tıbbi özellikleri ve besinsel avantajları nedeniyle kullanılmaktadır. Doğal ürünlerin geniş yelpazesi, antioksidanlar, antimikrobiyaller ve antiinflamatuvar ajanlar gibi biyolojik olarak aktif maddelerin değerli bir kaynağıdır. Bu bileşenler, ilaçlar ve nutrasötiklerin gelişiminde kritik bir rol oynamıştır. Ayrıca, doğal ürünler birkaç kültürde geleneksel tıp sistemlerinin temelini oluşturur. Bu bakımdan sağlık alanında tarihsel öneme sahiptirler. Doğal ürünleri günlük rutinlere dahil etmek, meyve, sebze ve bitkisel takviyeleri tüketmek gibi, sağlık üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir ve hastalıkları önlemede yardımcı olabilir. (Choi ve Verpoorte, 2019; Newman ve Cragg, 2020; Usman ve diğerleri, 2023).

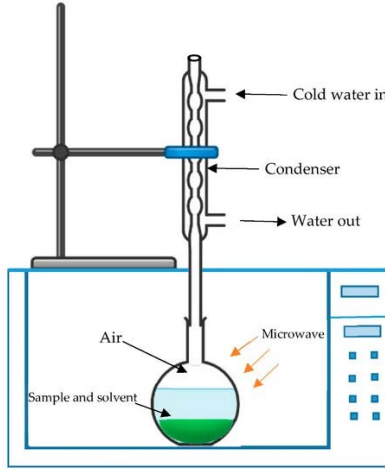
Şekil 2. Gıda ve Tarım Rünlerindeki Biyoaktif Doğal Ürünlerin Sınıfları



Kaynak: (Usman ve diğerleri, 2023).

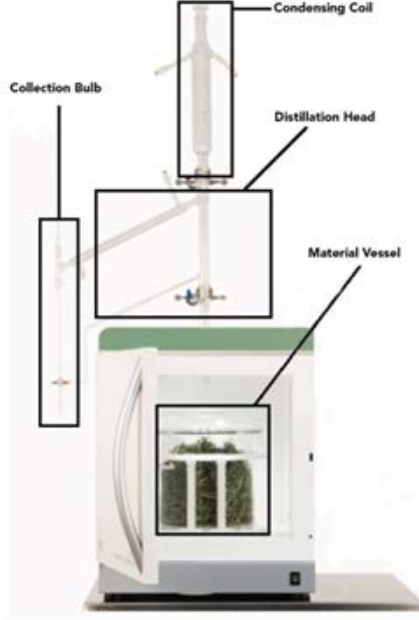
Bitkisel ürünler çeşitli biyolojik fonksiyonlara sahip biyoaktif moleküller için oldukça değerlidirler (Erenler ve diğerleri, 2016; Mali ve Kumar, 2023; Oroian ve Escriche, 2015). Bu kimyasalların kullanımı, gıda ve ilaç sektörleri dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde artmaktadır (Peanparkdee ve Iwamoto, 2019). Biyoaktif kimyasalların doğal kaynaklardan geri kazanılması, üretim ve kullanımlarındaki önemli bir aşamadır. Bununla birlikte, maserasyon, Soxhlet ekstraksiyonu ve buhar distilasyonu gibi ekstraksiyon için kullanılan geleneksel teknikler, uzun süreli çekim süreleri, düşük verim ve çevre ve insan sağlığına zararlı organik çözücülerin kullanımı gibi birkaç dezavantajı içerir (Lim, Chua ve Mustaffa, 2022). Son zamanlarda, doğal kaynaklardan biyoaktif kimyasalların ekstrakte edilmesi için sürdürülebilir ve çevre dostu teknikler geliştirme konusunda artan bir ilgi gözlemlenmektedir (Biswas, Sarkar, Alam, Roy ve Mahdi Hasan, 2023).

Şekil 3. Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon Sistemi (Çoklu Modlu Sistem)



Kaynak: (Saifullah et al., 2021).

Şekil 4. Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon Sistemi (Çoklu Modlu Sistem)



Kaynak: (<https://extranet2.milestonesrl.com/>)

Şekil 3, ev kullanımı için tasarlanmış bir mikrodalga cihazını gösterirken, Şekil 4, özel olarak bilimsel uygulamalar için tasarlanmış bir mikrodalga cihazını gösterir. Her iki tür cihaz da çoklu mod (multimod) cihazlardır.

4. SONUÇ

Mikrodalga destekli biyoaktif bileşik ekstraksiyon, geleneksel yöntemlere kıyasla devrim niteliğinde bir ilerlemedir. Bu yenilikçi teknik, hızlı, etkili ve çevre dostu özellikleri sayesinde farmasötik, gıda, kozmetik ve çevre endüstrilerinde çeşitli uygulamalara sahiptir. Mikrodalga enerjisinin hızlı ve seçici ısıtma etkisi, çözelti ve çözücüler arasındaki etkileşimi kolaylaştırır. Sonuç olarak, ekstraksiyon süresi azalırken elde

edilen biyoaktif bileşiklerin miktarı ve kalitesi artar. Ayrıca, daha az çözücü kullanımı çevre kirliliği potansiyelini azaltır. Mikrodalga teknolojisinin ilerlemesi ve maliyetlerin düşmesiyle, bu tekniğin gelecekte daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Araştırmacılar, diğer örnek matrisleri ve biyoaktif bileşikler üzerinde optimizasyon çalışmalarını sürdürerek yeni uygulamalar keşfetmeyi hedeflemektedir. Kısacası, mikrodalga destekli biyoaktif bileşik ekstraksiyon, sürdürülebilirlik ve verimliliğe odaklanan bugünkü endüstri yaklaşımıyla mükemmel bir uyum içinde olan bir teknoloji devrimidir. Bu tekniğin potansiyelinin daha iyi anlaşılması ve daha fazla araştırma ile, yaşamın diğer alanlarında yeniliklere kapı açması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Bagade, S. B. ve Patil, M. (2021). Recent Advances in Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Complex Herbal Samples: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. Taylor and Francis Ltd. doi:10.1080/10408347.2019.1686966
- Barzegar, F., Omid, N., Kamankesh, M., Mohammadi, A., Ferdowsi, R. ve Jazaeri, S. (2019). An advanced microwave-assisted extraction-low density solvent based on a sensitive microextraction method coupled with reverse phase high-performance liquid chromatography for the simultaneous determination of heterocyclic aromatic amines in fried chicken nuggets. *Analytical Methods*, 11(7). doi:10.1039/c8ay02834f
- Biswas, R., Sarkar, A., Alam, M., Roy, M. ve Mahdi Hasan, M. M. (2023). Microwave and ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from Papaya: A sustainable green process. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101. doi:10.1016/j.ultsonch.2023.106677

- Chaturvedi, A. K. (2018). Extraction of nutraceuticals from plants by microwave assisted extraction. *Systematic Reviews in Pharmacy*. doi:10.5530/srp.2018.1.6
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A. S. ve Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. doi:10.1016/j.ifset.2017.04.016
- Choi, Y. H. ve Verpoorte, R. (2019). Green solvents for the extraction of bioactive compounds from natural products using ionic liquids and deep eutectic solvents. *Current Opinion in Food Science*. doi:10.1016/j.cofs.2019.04.003
- Ekezie, F. G. C., Sun, D. W. ve Cheng, J. H. (2017). Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends in Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2017.06.006
- Erenler, R., Sen, O., Aksit, H., Demirtas, I., Yaglioglu, A. S., Elmastas, M. ve Telci, I. (2016). Isolation and identification of chemical constituents from *Origanum majorana* and investigation of antiproliferative and antioxidant activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(3). doi:10.1002/jsfa.7155
- Ganzler, K., Salgó, A. ve Valkó, K. (1986). Microwave extraction. A novel sample preparation method for chromatography. *Journal of Chromatography A*, 371(C). doi:10.1016/S0021-9673(01)94714-4

- Gong, M. ve Bassi, A. (2016). Carotenoids from microalgae: A review of recent developments. *Biotechnology Advances*. doi:10.1016/j.biotechadv.2016.10.005
- Hahn, T., Lang, S., Ulber, R. ve Muffler, K. (2012). Novel procedures for the extraction of fucoidan from brown algae. *Process Biochemistry*. doi:10.1016/j.procbio.2012.06.016
- Hou, R., Quan, Y. ve Pan, D. (2020). Dielectric constant of supercritical water in a large pressure-temperature range. *Journal of Chemical Physics*, 153(10). doi:10.1063/5.0020811
- Hu, B., Li, C., Qin, W., Zhang, Z., Liu, Y., Zhang, Q., ... Liu, S. (2019). A method for extracting oil from tea (*Camelia sinensis*) seed by microwave in combination with ultrasonic and evaluation of its quality. *Industrial Crops and Products*, 131, 234-242. doi:10.1016/j.indcrop.2019.01.068
- Jesus, M. S., Genisheva, Z., Romani, A., Pereira, R. N., Teixeira, J. A. ve Domingues, L. (2019). Bioactive compounds recovery optimization from vine pruning residues using conventional heating and microwave-assisted extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 132. doi:10.1016/j.indcrop.2019.01.070
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K. ve O'Donnell, C. P. (2013). Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/jf400819p
- Kapoor, R. V., Butler, T. O., Pandhal, J. ve Vaidyanathan, S. (2018, 1 Mart). Microwave-assisted extraction for microalgae: From biofuels to biorefinery. *Biology*. MDPI AG. doi:10.3390/biology7010018

- Lim, J. R., Chua, L. S. ve Mustaffa, A. A. (2022). Ionic liquids as green solvent and their applications in bioactive compounds extraction from plants. *Process Biochemistry*. doi:10.1016/j.procbio.2022.10.024
- Liu, W., Yang, C., Zhou, C., Wen, Z. ve Dong, X. (2019). An improved microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato in favor of subsequent comprehensive utilization of pomace. *Food and Bioproducts Processing*, 115. doi:10.1016/j.fbp.2019.02.003
- Mali, P. S. ve Kumar, P. (2023). Optimization of microwave assisted extraction of bioactive compounds from black bean waste and evaluation of its antioxidant and antidiabetic potential in vitro. *Food Chemistry Advances*, 3. doi:10.1016/j.focha.2023.100543
- Nabet, N., Gilbert-López, B., Madani, K., Herrero, M., Ibáñez, E. ve Mendiola, J. A. (2019). Optimization of microwave-assisted extraction recovery of bioactive compounds from *Origanum glandulosum* and *Thymus fontanesii*. *Industrial Crops and Products*, 129. doi:10.1016/j.indcrop.2018.12.032
- Newman, D. J. ve Cragg, G. M. (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*. doi:10.1021/acs.jnatprod.9b01285
- Nüchter, M., Ondruschka, B., Bonrath, W. ve Gum, A. (2004). Microwave assisted synthesis - a critical technology overview. *Green Chemistry*, 6(3), 128-141. doi:10.1039/b310502d
- Okolie, C. L., Mason, B., Mohan, A., Pitts, N. ve Udenigwe, C. C. (2019). The comparative influence of novel extraction

- technologies on in vitro prebiotic-inducing chemical properties of fucoidan extracts from *Ascophyllum nodosum*. *Food Hydrocolloids*, 90. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.12.053
- Oroian, M. ve Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*. doi:10.1016/j.foodres.2015.04.018
- Pangarkar, V. G. (2008). Microdistillation, Thermomicrodistillation and Molecular Distillation Techniques. *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants* içinde .
- Pawlaczyk-Graja, I., Balicki, S. ve Wilk, K. A. (2019). Effect of various extraction methods on the structure of polyphenolic-polysaccharide conjugates from *Fragaria vesca* L. leaf. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.03.013
- Peanparkdee, M. ve Iwamoto, S. (2019). Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.041
- Quiroz, J. Q., Torres, A. C., Ramirez, L. M., Garcia, M. S., Gomez, G. C. ve Rojas, J. (2019). Optimization of the microwave-assisted extraction process of bioactive compounds from annatto seeds (*Bixa orellana* L.). *Antioxidants*, 8(2). doi:10.3390/antiox8020037
- Rocchetti, G., Blasi, F., Montesano, D., Ghisoni, S., Marcotullio, M. C., Sabatini, S., ... Lucini, L. (2019). Impact of conventional/non-conventional extraction methods on the untargeted phenolic profile of *Moringa oleifera* leaves.

Food Research International, 115.
doi:10.1016/j.foodres.2018.11.046

- Saifullah, M., McCullum, R. ve Van Vuong, Q. (2021). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from lemon myrtle: Comparison of modern and conventional extraction techniques based on bioactivity and total polyphenols in dry extracts. *Processes*, 9(12). doi:10.3390/pr9122212
- Samad, N. A., Zaidel, D. N. A., Salleh, E., Yusof, A. H. M., Dailin, D. J. ve Zaidel, D. N. A. (2019). Optimization of plectranthus amboinicus (Lour.) spreng extraction process using microwave-assisted technique. *Chemical Engineering Transactions*, 72. doi:10.3303/CET1972067
- Tatke, P. ve Jaiswal, Y. (2011). An overview of microwave assisted extraction and its applications in herbal drug research. *Research Journal of Medicinal Plant*. doi:10.3923/rjmp.2011.21.31
- Usman, M., Nakagawa, M. ve Cheng, S. (2023). Emerging Trends in Green Extraction Techniques for Bioactive Natural Products. *Processes*, 11(12), 3444. doi:10.3390/pr11123444
- Vivekananda Mandal, Yogesh Mohan ve S. Hemalatha. (2007). Microwave Assisted Extraction-An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research | Paper | Microsoft Academic. *Pharmacognosy Reviews*, 1(1).
- Zhong, Z., Li, G., Luo, Z. ve Zhu, B. (2019). Microwave-assisted dispersive liquid-liquid microextraction coupling to solidification of floating organic droplet for colorants analysis in selected cosmetics by liquid chromatography. *Talanta*, 194. doi:10.1016/j.talanta.2018.09.105

- Zhou, T., Xiao, X., Li, G. ve Cai, Z. wei. (2011). Study of polyethylene glycol as a green solvent in the microwave-assisted extraction of flavone and coumarin compounds from medicinal plants. *Journal of Chromatography A*, 1218(23). doi:10.1016/j.chroma.2011.04.031
- Zill-e-huma, H. (2010). Microwave Hydro-diffusion and gravity : a novel technique for antioxidants extraction Zill-e-Huma. *Green Chemistry*.

***Oreochromis niloticus*'da PROPİCONAZOLE'UN MARUZİYETİNDE EROD ENZİM AKTİVİTESİNDE OLAN DEĞİŞİMLER**

Özge TEMİZ¹

1. GİRİŞ

Propiconazole (PPC), fungusit grubuna dahil olan bir triazol olarak üretilmiş (CAS#: 60207-90-1, 1-(2-(2,4-diklorofenil)-4-propil-1,3-dioksolan-2-ilmetil)-1H-1,2,4-triazol) dünyada en yoğun kullanılan fungusittir. Mantar hücrelerinin zarındaki sterol üretimini bloke ederek mantar çoğalmasını önleyerek bitki üzerinde mantar gelişimini önler (Srivastava & Singh, 2014). Fungisitler hedef olmayan organizmalarda potansiyel toksik etkilerini oksidatif stresin oluşması ve oksidatif hasar oluşturan serbest radikallerin canlı hücrelerinde birikimi sonucunda, özellikle redoks reaksiyonlarının indüklemesini sağlar (Parvez & Raisuddin, 2006). Belirli çevre kirleticiler özellikle hedef aldıkları biyokimyasal yolları vardır. Bunlardan birtanesi sitokrom P4501A (CYP1A) olarak isimlendirilen ksenobiyotik metabolizmasında görev alan enzimdir ve bu enzimlerin aktivitesini katbetmesini sağlayarak toksik etkilerini göstermektedirler (Hahn ve Stegeman, 1994). CYP1A'nın hücre içerisinde miktarı gerekmedikçe optimum miktarının üzerine çıkarılarak aktive göstermez, ancak çevresel kirleticiler tarafından indüklenmesi sonucunda ekspresyonu artırılır ve

¹ Doç. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, ozgetemiz@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0668-5744.

yüksek oranda aktivite gösterir. Bu artışın sonucunda oluşan toksik etkinin giderilmesi için gösterilen aktivite önemli bir biyomarkır olarak değerlendirilmektedir. Çevre kirleticilerinin etkisinde balıkların dokularında ölçülen CYP1A tarafından aktivasyonu sağlanan 7-etoksiresorufin O-deetilazın (EROD), sucul organizmalarda oluşan kirliliğin belirlenmesi açısından önemli bir parametredir (Jonsson ve ark., 2006). Polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi organik kirleticiler, ilaçlar ve pestisitler gibi büyük çeşitlikte kirleticiler ile de indüklenmektedir (Sakallı ve ark., 2018). Ksenobiyotik metabolizması öncelikle dönüşümü katalize etmek için birçok enzim içeren karaciğerde görülür. Sitokrom CYP450'ler organizmalarda ksenobiyotiklerin biyotransformasyonu için ilk yanıt olarak işlev görür ve ksenobiyotiklerin farklı reaksiyonlarını katalize edebilen çeşitli alt familya enzimlerinden oluşur (Tang ve ark., 2006). Bunlardan biri olan Faz 1 biyotransformasyon enzimi sitokrom 1A (CYP1A) aktivitesini temsil eden EROD aktivitesi, birçok sucul organizmada ksenobiyotiklerin toksik etkilerinin belirlenmesinde kullanılan biyomarkırdır (Van der Oost ve ark., 2003; Fabrin ve ark., 2019). CYP450 proteinlerinin çoğu, çeşitli ksenobiyotiklerin kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre örneğin lipofilik organik maddeleri suda çözünür bileşiklere metabolize eder (Bernhoft ve ark., 1994; Lushchak ve ark., 2018). Sucul ortamda ekolojik zincirde önemli yeri olan balıkların kirliliğin belirlenmesi açısından önemli bir yeri olan türdür (Stoskoph, 1993). Bu çalışmanın amacı *Oreochromis niloticus*'da böbrek dokusunda Propiconazole'un 0.1 ppb ve 0.25 ppb konsantrasyonlarının 48 saat boyunca toksik etkileri belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOD

Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yetiştirme çiftliğinden alınan tatlı su çuprası *O. niloticus*, toksisite deneylerinin yapıldığı laboratuvar ortamında 2 hafta akklimatize edildi. Deney canlısının ortalama boyu 10.86 ± 0.34 cm, ağırlığı ise 26.8 ± 0.78 gr olarak bulunmuştur. Merkezi sistem ile havalandırma yapılan cam akvaryumlarda dinlendirilmiş musluk suyu ile 40 litre su dolu akvaryumlarda toksisite deneyleri üç grupta yürütülmüştür. Birinci gruptaki balıklar 0.1 ppb, ikinci gruptaki balıklar 0.25 ppb propiconazole'ün etkisine 48 saat süreyle deneyler gerçekleştirilmiştir, üçüncü gruptaki balıklar ise kontrol balıkları olarak kullanılmıştır. Deneyler her tekrarda iki balık olacak şekilde üç tekrarlı yapılmıştır. 48 saat sonunda balıklardan böbrek dokusu çıkarılıp, izotonik serum fizyolojik ile yıkanıp, kurutulup doku ağırlıkları tartıldıktan sonra biyokimyasal analizlere kadar -80°C 'de depolanmıştır. Böbrek dokusu EROD aktivitesi için hazırlanan mikrozomal süpernantant (S9) ile EROD aktivitesi 572 nm'de spektrofotometrik yöntem ile belirlenmiştir (Klotz ve ark., 1984). Protein ölçümü Bradford (1976) spektrofotometrik yöntemiyle standart olarak BSA kullanılarak çalışılmıştır. EROD aktivitesi nmol/mg/pro/min olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler istatistik hesaplamalar yapılmak üzere SPSS 21 paket programı kullanılarak One way ANOVA- Duncan testi yöntemiyle değerlendirilmiştir ($p < 0.05$).

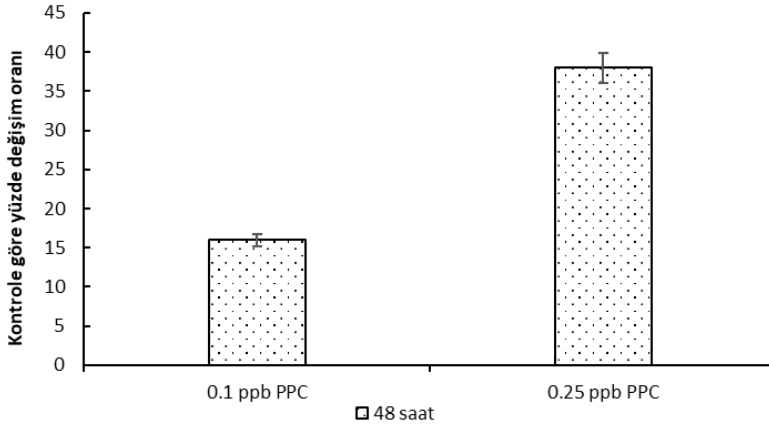
3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırmamızda *Oreochromis niloticus* böbrek dokusunda kontrol grubuna göre 48 saat 0.1 ppb ve 0.25 ppb PPC maruziyetinde EROD enzim aktiviteleri %16 ve %38 artış belirlenmiştir. Balıklarda, *in vivo* araştırmalarda EROD aktivitesi özellikle karaciğer dokusunda spesifik sonuç verdiği ve

detoksifikasyon organı olan karaciğer dokusu ksenobiyotik mekanizmasındaki rolü önemli olduğundan öncelikli olarak kullanılan bir parametredir (Stegeman ve Hahn, 1994; Levine ve Oris, 1999). EROD enzim aktivitesinde çeşitli ksenobiyotik bileşiklerin kimyasal yapılarına göre aktive edebilen veya inhibe edebildiğini gösteren araştırmalar bulunmaktadır.

EROD aktivitesi balıklarda en belirgin ksenobiyotik metabolize edici enzimdir ve aktivitesi detoksifikasyon işlemlerinde önemlidir. CYP1A1'in sucul ortamdaki farmasötikler de dahil olmak üzere çeşitli çevresel kirleticiler tarafından indüklendiği bilinmektedir (Beijer ve ark., 2013, Wassmur ve ark., 2013). İn vitro çalışmamızda klotrimazol, Ki değeri 0.5 uM olan CYP1A1'e bağlı EROD aktivitesinin güçlü bir inhibitörü olarak tanımlanmıştır (Burkina ve ark., 2015). Aksine, aynı çalışma deksametazonun EROD aktivitesini etkilemediğini göstermiştir (Burkina ve ark., 2013).

Şekil 1. O. Niloticus'Da Böbrek Dokusunda EROD Enzim Aktivitesi Üzerine 48 Saat Maruziyette Propiconazole'ün Etkisi



Santana ve ark., (2022) pestisidlerin antioksidantlar üzerine olan etkilerini derledikleri makalelerinde yapılan

araştırmalarda triazollerin (örn. propikonazol, tebukonazol, paklobutrazol) EROD enzim aktivitesinde istatistiksel olarak önemli bir artış gösterdiği bildirilmiştir. Benzer bir araştırmada 48 saat 0.002 ppm Fenpiroksimat maruziyetinde *Paralichthys olivaceus* karaciğer dokusunda EROD aktivitesinde önemli artış olduğu bildirilmiştir (Na, 2009). Ekofizyolojik açıdan bakıldığında fungusitlerin su ortamına ve sucul organizmalara dağılımıyla birlikte endişe verici bir toksik etki oluşturduğu yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir. Analiz edilen bir biyomarkır olarak EROD PPC'nin toksik etkilerinin belirlenmesinde biyokimyasal yolların gösterdiği önemli bir göstergedir.

KAYNAKÇA

- Beijer, K., Gao, K., Jönsson, M. E., Larsson, D. J., Brunström, B., & Brandt, I. (2013). Effluent from drug manufacturing affects cytochrome P450 1 regulation and function in fish. *Chemosphere*, 90(3), 1149-1157.
- Bernhoft, A., Hektoen, H., Skaare, J. U., & Ingebrigtsen, K. (1994). Tissue distribution and effects on hepatic xenobiotic metabolising enzymes of 2, 3, 3', 4, 4'-pentachlorobiphenyl (PCB-105) in cod (*Gadus morhua*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Pollution*, 85(3), 351-359.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- Burkina, V., Sakalli, S., Rasmussen, M. K., Zamaratskaia, G., Koba, O., Thai, G. P., ... & Zlabek, V. (2015). Does dexamethasone affect hepatic CYP450 system of fish?

Semi-static *in vivo* experiment on juvenile rainbow trout. *Chemosphere*, 139, 155-162.

- Burkina, V., Zlabek, V., & Zamaratskaia, G. (2013). Clotrimazole, but not dexamethasone, is a potent *in vitro* inhibitor of cytochrome P450 isoforms CYP1A and CYP3A in rainbow trout. *Chemosphere*, 92(9), 1099-1104.
- Fabrin, T. M. C., Diamante, N. A., Mota, T. F. M., de Castilhos Ghisi, N., Prioli, S. M. A. P., & Prioli, A. J. (2018). Performance of biomarkers metallothionein and ethoxyresorufin O-deethylase in aquatic environments: A meta-analytic approach. *Chemosphere*, 205, 339-349.
- Hahn, M. E., & Stegeman, J. J. (1994). Regulation of cytochrome P4501A1 in teleosts: sustained induction of CYP1A1 mRNA, protein, and catalytic activity by 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzofuran in the marine fish *Stenotomus chrysops*. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 127(2), 187-198.
- Jönsson, E. M., Abrahamson, A., Brunström, B., & Brandt, I. (2006). Cytochrome P4501A induction in rainbow trout gills and liver following exposure to waterborne indigo, benzo [a] pyrene and 3, 3', 4, 4', 5-pentachlorobiphenyl. *Aquatic Toxicology*, 79(3), 226-232.
- Klotz, A.V., Stegeman, J.J., and Walsh, C., 1984. An alternative 7-ethoxyresorufin O-deethylase activity assay: a continuous visible spectrophotometric method for measurement of cytochrome P-450 monooxygenase activity. *Anal. Biochem.* 140: 138-145.
- Levine, S. L., & Oris, J. T. (1999). CYP1A expression in liver and gill of rainbow trout following waterborne exposure:

- implications for biomarker determination. *Aquatic Toxicology*, 46(3-4), 279-287.
- Lushchak, V. I., Matviishyn, T. M., Husak, V. V., Storey, J. M., & Storey, K. B. (2018). Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI journal*, 17, 1101.
- Na, N., Guo H., Zhang S., Li Z. ve Yin, L., 2009. *In vitro* and *in vivo* acute toxicity of fenpyroximate to flounder *Paralichthys olivaceus* and its gill cell line FG, *Aquatic Toxicology*, 92, 76–85.
- Parvez, S., & Raisuddin, S. (2006). Effects of paraquat on the freshwater fish *Channa punctata* (Bloch): non-enzymatic antioxidants as biomarkers of exposure. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 50, 392-397.
- Sakalli, S., Burkina, V., Pilipenko, N., Zlabek, V., & Zamaratskaia, G. (2018). In vitro effects of diosmin, naringenin, quercetin and indole-3-carbinol on fish hepatic CYP1A1 in the presence of clotrimazole and dexamethasone. *Chemosphere*, 192, 105-112.
- Srivastava, P., & Singh, A. (2014). Statistical analysis of hydrological properties and genetic toxicity of Maheshara Lake. *J. Ecol. Nat. Environ*, 6(4), 159-165.
- Stegeman, J. J., & Hahn, M. E. (1994). Biochemistry and molecular biology of monooxygenases: current perspectives on forms, functions, and regulation of cytochrome P450 in aquatic species. *Aquatic toxicology: molecular, biochemical, and cellular perspectives*, 87, 206.
- Stoskopf, M. K. 1993. Clinical Patology. In. Stoskopf, M. K. (ed.), *Fish Medicine*. Saunders, Philadelphia, pp. 113–131.

- Tang, J. Rose, R.L. Chambers J.E. Ramesh C.G. (Ed.) 2006. Toxicology of Organophosphate and Carbamate Compounds: Metabolism of Organophosphorus and Carbamate Pesticides, Academic Press, pp. 127-143.
- Van der, Oost R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental toxicology and pharmacology*, 13(2), 57-149.
- Wassmur, B., Gräns, J., Norström, E., Wallin, M., & Celander, M. C. (2013). Interactions of pharmaceuticals and other xenobiotics on key detoxification mechanisms and cytoskeleton in *Poeciliopsis lucida* hepatocellular carcinoma, PLHC-1 cell line. *Toxicology in Vitro*, 27(1), 111-120.

BİYOPESTİSİT PERMETHRİN MARUZİYETİNDE *OREOCHROMIS NILOTICUS*'UN OKSİDATİF TOKSİSİTENİN BELİRLENMESİ

Özge TEMİZ¹

1. GİRİŞ

Piretroid sınıfı pestisitler *Chrysanthemum cinerariaefolium* türünün çiçeklerinden üretilen piretrin toksik maddesinin sentetik olarak üretilen bir biyopestisit olarak kullanılmaktadır (Bulgarella ve ark., 2020). Bu yüzden sentetik piretroidler olarakda bilinen ve sucul organizmalar üzerinde toksik etki gösterdiği belirlenmiştir (Balint ve ark., 1995; Datta ve Kaviraj, 2003). Özellikle piretroid grubu petisitler içerisinde permethrin (PET) doğada daha kalıcı ve bulunduğu ortamda yavaş yavaş biyolojik olarak parçalandığı belirlenmiştir (Yang ve ark., 2007; Ding ve ark., 2013).

Pestisitler hücrede toksik etkilerine bağlı olarak oksidatif hasara yol açabilirler ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini ve birikmesine neden olarak canlı üzerinde geri dönüşümü olmayan bir hasar oluşturabilir (Abdollahi ve ark., 2004; Wang ve ark., 2018). Birçok çalışma pestisit toksisitesinin serbest radikallerin üretimi yoluyla oksidatif stres ürettiğini canlı organizmalarda doku antioksidant sistem ve lipit

¹ Doç. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, ozgetemiz@osmaniye.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0668-5744

peroksidasyonuna neden olduğu gösterilmiştir (El- Demerdash ve ark., 2004; Eraslan ve ark., 2007).

Oreochromis niloticus, sucul ortamlarda kirliliğe karşı dayanıklı olma konusundaki dikkat çekici yeteneği ile karakterize edilen, dünya çapında en yaygın tür olarak bilinen ve dağıtılan tatlı su balıklarındandır (dos Santos ve ark., 2012).

Bu çalışmada 0.01 ppb ve 0.1 ppb permethrin etkisinde *O. niloticus* türünde bağırsak dokusunda 4 ve 7 gün maruziyet sonucunda GSH ve TBARS düzeylerinde olan değişimler amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Tatlı su çuprası olan *O. niloticus* toksisite deneylerinde kullanılmak üzere Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesine bağlı olan Balık yetiştirme çiftliğinde yetiştirilen deney hayvanları laboratuvar ortamında iki hafta akklimatize edildi. Deney sürecine alınan *O. niloticus* türü balıkların boyu 11.08 $\pm$ 0.48 cm, ağırlığı ise 34.6 $\pm$ 0.95 gr olarak ölçülmüştür.

Havalandırma yapılan cam akvaryumlarda dinlendirilmiş musluk suyu ile 40 litre su doldurulan cam akvaryumlarda toksisite denemeleri üç grupta yürütülmüştür. Birinci gruptaki kontrol grubu balıklar, ikinci gruptaki balıklar 0.01 ppb permethrin, ve üçüncü grupta 0.1 ppb permethrin'in etkisinde 4 ve 7 gün sürede yürütülen deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneyler her grupta 6 balık kullanılarak 4 gün ve 7 gün sonunda toplamda 36 balık ile planlanmıştır (n=6).

Balıklardan 4 ve 7 gün sonunda bağırsak dokusu çıkarılıp, izotonik serum fizyolojik ile yıkanıp, kurutulup doku ağırlıkları tartıldıktan sonra biyokimyasal analizlere kadar -80°C'de depolanmıştır. Biyokimyasal analizler için bağırsak dokuları, %1.17' lik KCl oranı eklenen ve pH 7.4 olan 0.1M sodyum-fosfat

tamponuyla 1/20 oranında seyreltilerek 4 dk homojenizasyon işlemi yapılmıştır. Homojenatların +4 °C’de 14000 rpm’de 30 dk santrifüj işleminden sonra elde edilen süpernatantlar ayrıştırılıp kullanılmıştır. Hazırlanan süpernant örneklerde Glutasyon (GSH) (Beutler, 1975) ve Tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) (Ohkawa ve ark., 1979) miktarları belirlenmiştir. Protein ölçümü Bradford (1976) spektrofotometrik yöntemiyle standart olarak BSA kullanılarak çalışılmıştır.

Elde edilen GSH miktarı ($\mu\text{mol} / \text{mg/protein}$) ve TBARS miktarı (nmol/mg protein) sonuçlarının hesaplaması ve istatistik olarak değerlendirilmesi yapılmak üzere SPSS 21 paket programı kullanılarak One way ANOVA Duncan yöntemiyle değerlendirilmiştir ($p < 0.05$).

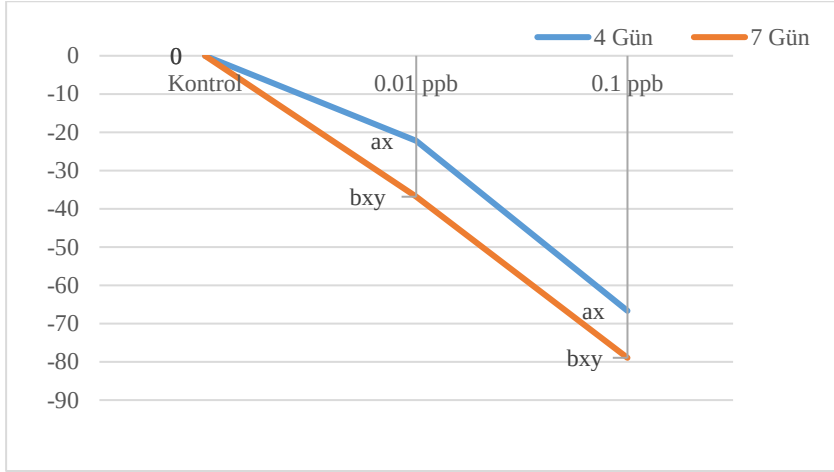
3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma sonuçları kontrol ve PET toksisite konsantrasyonları olan 0.01 ppb ve 0.1 ppb düzeylerinde uygulanan 4 ve 7 gün sonunda *Oreochromis niloticus* bağırsak dokusunda GSH miktarı Şekil 1. ve TBARS miktarı Şekil 2.’de verilmiştir.

PET toksisite konsantrasyonları olan 0.01 ppb ve 0.1 ppb GSH miktarında 4 gün sonunda *Oreochromis niloticus* bağırsak dokusunda kontrole göre sırasıyla %22, %67 azalma olduğu belirlendi. 0.01 ppb ve 0.1 ppb PET konsantrasyonlarında GSH miktarında 7 gün sonunda *Oreochromis niloticus* bağırsak dokusunda kontrole göre sırasıyla %37, %79 azalma olduğu belirlendi. Zamana bağlı olarak 0.01 ppb ve 0.1 ppb PET maruziyetinde 4 güne göre 7. gün uygulamasında GSH miktarında sırasıyla %17 ve %50 azalmanın daha fazla olduğu belirlendi (Şekil 1.)

PET toksisite konsantrasyonları olan 0.01 ppb ve 0.1 ppb TBARS miktarında 4 gün sonunda *Oreochromis niloticus* bağırsak dokusunda kontrole göre sırasıyla %8, %50 artış olduğu belirlendi. 0.01 ppb ve 0.1 ppb PET konsantrasyonlarında TBARS miktarında 7 gün sonunda *Oreochromis niloticus* bağırsak dokusunda kontrole göre sırasıyla %30, %69 artışın olduğu belirlendi. Zamana bağlı olarak 0.01 ppb ve 0.1 ppb PET maruziyetinde 4 güne göre 7. gün uygulamasında GSH miktarında sırasıyla %16 ve %10 azalmanın daha fazla olduğu belirlendi (Şekil 2.)

Gsh Miktarı Kontrole Göre % Değişim

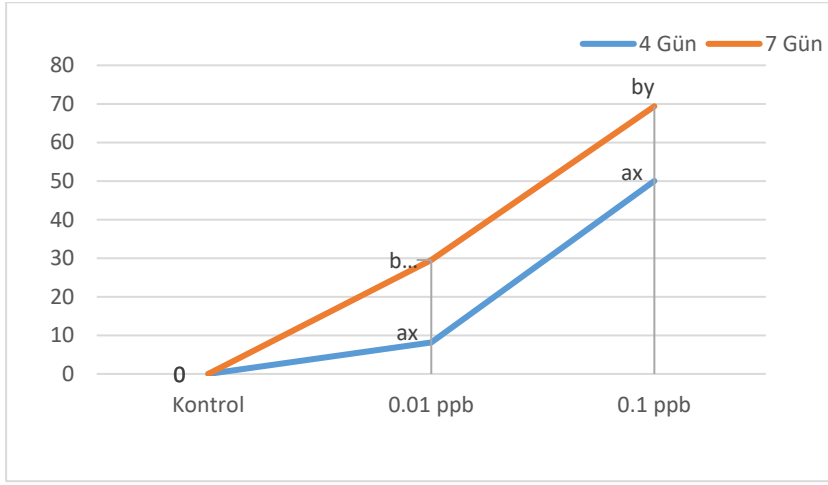


Şekil 1. *Oreochromis niloticus*'un PET maruziyetinde 4 ve 7 gün sürede 0.01 ppb ve 0.1 ppb uygulamasında bağırsak dokusunda GSH miktarında olan değişimlerin kontrole göre % değişim grafiği (n=6; $p < 0.05$)

Notopterus notopterus beyin dokusunda yapılan çalışmada PET maruziyetinde 0.34 ppb ve 0.68 ppb düzeylerinde GSH miktarında doza bağlı olarak artış, TBARS miktarında doza bağlı olarak kontrole göre istatistiksel olarak artış olduğu bildirilmiştir (Moniruzzaman ve ark., 2020). GSH, hücre içi enzimatik olmayan antioksidan elemanı olarak görev alan ve

hücreleri farklı toksisite durumlarında ROS türevli kimyasal türlere karşı detoksifikasyona katılarak önemli bir koruyuculuk sağlamaktadır. Serbest radikallerin önemli detoksifikasyonunu sağlayan ve oksidatif strese karşı enzimatik olarakda glutatyon peroksidaz ve glutatyon S transferaz (GPx ve GST) ile birlikte aynı zamanda diğer detoksifikasyona katılan enzimlerin kofaktörü olarak görev almaktadır.

TBARS Miktarı Kontrole % Değişim



Şekil 2. *Oreochromis niloticus*'un PET maruziyetinde 4 ve 7 gün sürede 0.01 ppb ve 0.1 ppb uygulamasında bağırsak dokusunda TBARS miktarında olan değişimlerin kontrole göre % değişim grafiği (n=6; $p < 0.05$)

Ek olarak GSH, en önemli antioksidanlar olan C ve E vitaminlerini aktif formlarına geri dönüştürebilmektedir (Valko ve ark., 2006). PET maruziyetinde (150 mg/kg vücut ağırlığı), sıçanlarda 60 gün boyunca maruz bırakıldıktan sonra karaciğer dokusunda TBARS artışı olduğu bildirilmiştir (Gabbianelli ve ark., 2013).

Daha önceki bir araştırmada pestisit toksisitesi kaynaklı artış görülen ROS seviyeleri ve antioksidan savunmadaki azalma

balıklarda oksidatif hasarın artışına sebep olduğu bildirilmiştir (Janssens & Stoks, 2017). Oksidatif stresin bir belirteci olarak lipid peroksidasyonu, önemli bir parametre olarak araştırmalarda yaygın şekilde biyomarkır olarak kullanılır (Sayeed ve ark., 2003). Tiyobarbitürik asitle reaktif maddelerin (lipit peroksidasyonunun derecesinin göstergesi) seviyelerindeki değişimler birçok çalışmada önemli bir gösterge olduğu raporlanmıştır (Yousef ve ark., 2003; El-Demerdash ve ark., 2004; Arrighetti ve ark., 2018).

Bağırsak dokusunda antioksidan sistemde olan değişiklikler, PET'in neden olduğu kirliliğinin potansiyel biyobelirteçleri olarak kullanılabilecek hassas biyolojik parametreler olarak önem arz etmektedir. Ayrıca izleme programları ve yeni araştırmalar adına potansiyel kullanımını değerlendirmek amacıyla PET toksisitesinin etkisi ve deney canlısı olan *O. niloticus*'un diğer kirleticilere karşı antioksidan savunma sistemi mekanizmalarının analiz edilmesi biyokimyasal yolların toksik etki altında gösterdiği yanıtlar için önemli bir gösterge olabilir.

KAYNAKÇA

- Abdollahi, M., Ranjbar, A., Shadnia, S., Nikfar, S., & Rezaie, A. (2004). Pesticides and oxidative stress: a review. *Med Sci Monit*, 10(6), 141-147.
- Arrighetti, F., Ambrosio, E., Astiz, M., Capitulo, A. R., & Lavarias, S. (2018). Differential response between histological and biochemical biomarkers in the apple snail *Pomacea canaliculata* (Gasteropoda: Amullariidae) exposed to cypermethrin. *Aquatic Toxicology*, 194, 140-151.

- Balint, T., Szegletes, T., Szegletes, Z., Halasy, K., & Nemcsók, J. (1995). Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methidathion and the pyrethroid deltamethrin. *Aquatic Toxicology*, 33(3-4), 279-295.
- Beutler, E. (1975). Red Cell Metabolism. A Manual of Biochemical Methods. Grune and Stration, New York, London, 67-69.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Bulgarella, M., Knutie, S. A., Voss, M. A., Cunninghame, F., Florence-Bennett, B. J., Robson, G., & Causton, C. E. (2020). Sub-lethal effects of permethrin exposure on a passerine: implications for managing ectoparasites in wild bird nests. *Conservation physiology*, 8(1), 76.
- Datta, M., & Kaviraj, A. (2003). Acute toxicity of the synthetic pyrethroid deltamethrin to freshwater catfish *Clarias gariepinus*. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 70, 0296-0299.
- Ding, Y., Landrum, P. F., You, J., & Lydy, M. J. (2013). Assessing bioavailability and toxicity of permethrin and DDT in sediment using matrix solid phase microextraction. *Ecotoxicology*, 22, 109-117.
- dos Santos Carvalho, C., Bernusso, V. A., de Araújo, H. S. S., Espíndola, E. L. G., & Fernandes, M. N. (2012). Biomarker responses as indication of contaminant effects in *Oreochromis niloticus*. *Chemosphere*, 89(1), 60-69.
- El-Demerdash, F. M., Yousef, M. I., Kedwany, F. S., & Baghdadi, H. H. (2004). Role of α -tocopherol and β -carotene in

ameliorating the fenvalerate-induced changes in oxidative stress, hemato-biochemical parameters, and semen quality of male rats. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 39(3), 443-459.

Eraslan, G., Saygi, S., Essiz, D., Aksoy, A., Gul, H., & Macit, E. (2007). Evaluation of aspect of some oxidative stress parameters using vitamin E, proanthocyanidin and N-acetylcysteine against exposure to cyfluthrin in mice. *Pesticide biochemistry and physiology*, 88(1), 43-49.

Gabbianelli, R., Palan, M., Flis, D. J., Fedeli, D., Nasuti, C., Skarydova, L., & Ziolkowski, W. (2013). Imbalance in redox system of rat liver following permethrin treatment in adolescence and neonatal age. *Xenobiotica*, 43(12), 1103-1110.

Janssens, L., & Stoks, R. (2017). Chlorpyrifos-induced oxidative damage is reduced under warming and predation risk: explaining antagonistic interactions with a pesticide. *Environmental Pollution*, 226, 79-88.

Moniruzzaman, M., Mukherjee, M., Das, D., & Chakraborty, S. B. (2020). Effectiveness of melatonin to restore fish brain activity in face of permethrin induced toxicity. *Environmental Pollution*, 266, 115230.

Ohkawa, H., Ohishi, N. & Tagi, K. (1979). Assay for Lipid Peroxides in Animal Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction. *Analytical Chemistry*, 95, 351-358.

Sayeed, I., Parvez, S., Pandey, S., Bin-Hafeez, B., Haque, R., & Raisuddin, S. (2003). Oxidative stress biomarkers of exposure to deltamethrin in freshwater fish, *Channa punctatus* Bloch. *Ecotoxicology and environmental safety*, 56(2), 295-301.

- Valko, M., Rhodes, C. J. B., Moncol, J., Izakovic, M. M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-biological interactions*, 160(1), 1-40.
- Wang, C., Harwood, J. D., & Zhang, Q. (2018). Oxidative stress and DNA damage in common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to the herbicide mesotrione. *Chemosphere*, 193, 1080-1086.
- Yang, W. C., Hunter, W., Spurlock, F., & Gan, J. (2007). Bioavailability of permethrin and cyfluthrin in surface waters with low levels of dissolved organic matter. *Journal of Environmental Quality*, 36(6), 1678-1685.
- Yousef, M. I., El-Demerdash, F. M., & Al-Salhen, K. S. (2003). Protective role of isoflavones against the toxic effect of cypermethrin on semen quality and testosterone levels of rabbits. *Journal of environmental science and health, part B*, 38(4), 463-478.

BİYOKONJUGATLAR VE KULLANIM ALANLARI

Zafer Ömer ÖZDEMİR¹

1. GİRİŞ

Biyolojik moleküllerin biyolojik olmayan malzemelere bağlanma sanatı olan biyokonjugasyon, çok çeşitli alanlarda geniş kapsamlı etkileri olan bir dönüşüm teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır. Biyomoleküllerin mükemmel özelliğini ve sentetik malzemelerin muazzam işlevlerini eşsiz bir şekilde birleştirerek, biyokonjugatlar güçlü bir platform sunar.

Biyolojik moleküller (biyomoleküller): Proteinler (antikorlar), nükleik asitler (DNA ve RNA), karbonhidratlar (şekerler) ve lipitler gibi canlı organizmalarda bulunan moleküllerdir. Bunlar, doku inşaatı, kimyasal reaksiyonlar ve genetik bilginin depolanması gibi çeşitli biyolojik süreçlerde önemli rol oynarlar.

Biyolojik olmayan moleküller (sentetik moleküller): İlaçlar, boyalar, polimerler ve nano parçacıklar gibi canlı organizmalar tarafından üretilmemiş moleküllerdir. Bunlar biyomoleküllerde bulunmayan çeşitli özellikler ve fonksiyonlara sahip olabilirler.

Biyokonjugatlarla ilgili bir konuda enzimlerin kullanımından bahsetmek kaçınılmazdır. Enzimler kimyasal katalizörlerden daha yüksek seçici, spesifik ve verimlidirler. Özellikleri ve yeşil kimyası nedeniyle, biyokatalizörler gıda, tekstil ve ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Celebi,

¹ Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Eczacılık Fakültesi, ozdemirz@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8362-3136

Kaya, Altikatoglu ve Yildirim, 2013; Kirk, Borchert ve Fuglsang, 2002; Madhavan, Sindhu, Binod, Sukumaran ve Pandey, 2017).

Endüstriyel uygulamalar için yüksek verimli bir biyokatalizör, geniş bir sıcaklık ve pH aralığında istikrarlı olmalı ve aşağıdaki süreçte ürünten kolayca ayrılmalı ve geri alınmalıdır (Eş, Vieira ve Amaral, 2015; H.H.P. ve M.A., 2012; Suzuki ve diğerleri, 2015). Enzimler termal istikrarsızlık, proteaz saldırıya duyarlılık, aktivite inhibisyonu, pH ve diğer denatürasyon ajanlarına karşı yüksek duyarlılık gösterir ve reaksiyonun sonunda ayrılamaz ve tekrar kullanılamaz. Polimer resinler ve inorganik malzemeler gibi katı dayanıklara enzimlerin immobilizasyonu, bu dezavantajları aşar (Altikatoglu ve Celebi, 2011; Datta, Christena ve Rajaram, 2013).

Bu çalışmada aşağıda listelenen alanlarda kullanım imkanına sahip olan “Biyokonjugatlar”, güncel literatür örnekleriyle açıklanacaktır.

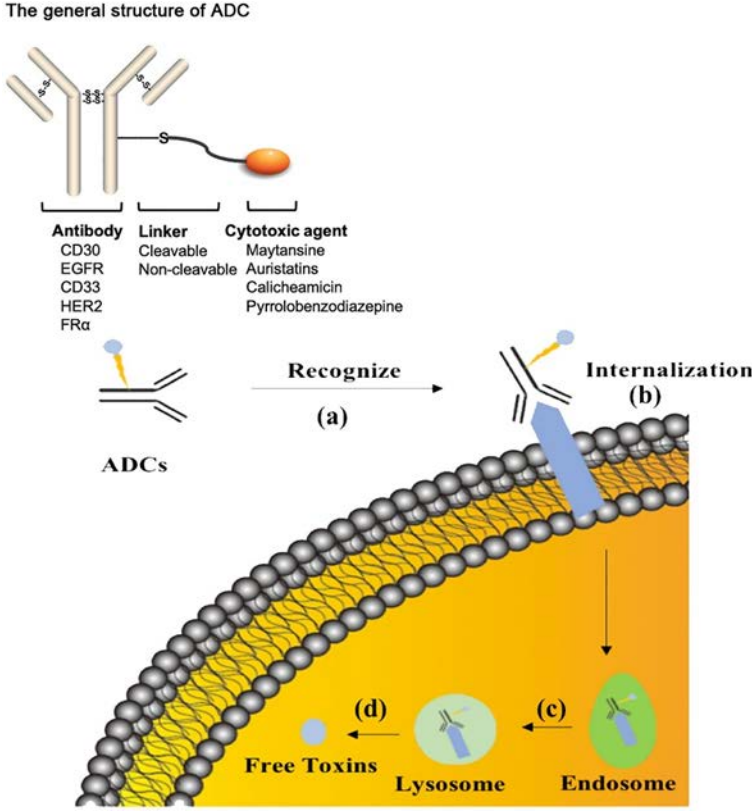
2. BİYOKONJUGATLARIN KULLANIM ALANLARI

1. İlaç Teslimatı ve Hedeflendirme:
2. Biyolojik Görüntüleme ve Tanımlama:
3. Gen Terapisi ve Teslimat:
4. Biyomateryal ve doku mühendisliği:

2.1.İlaç Teslimatı ve Hedeflendirme

Antikor (mAb) ilaç konjugatları (ADC; Antibody-drug conjugates) son yıllarda yavaş yavaş mükemmel bir anti-tümör ilaç haline geldi. Bunlar, bir bağlayıcı aracılığıyla bir monoklon antikor ile bir çift zehirli küçük moleküller (payload) tarafından oluşur. ADC’ler, tümör hücrelerinin yüzeyinde belirli reseptörleri hedefleyerek belirli tümör Hücrelerine yüksek toksik faydalı

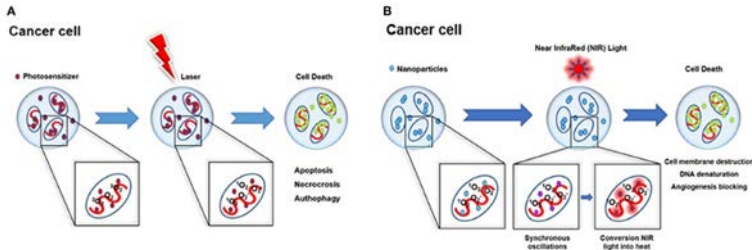
yükler sağlar. Bu, ilacın ADC konsantrasyonunun yalnızca tümör merkezinde artırılmasını sağlar, bu da etkili ve daha az toksik bir antitumor etkisi sağlar. Bu nedenle, ADC'ler son yıllarda onkoloji çalışmalarında yoğun biçimde kullanılmaktadır (Chau, Steeg ve Figg, 2019). Bu alana giderek daha fazla araştırma kurumları ve ilaç şirketleri girdiğinde, ADC'lerin klinik uygulamaları arttı (Yao ve diğerleri, 2023).



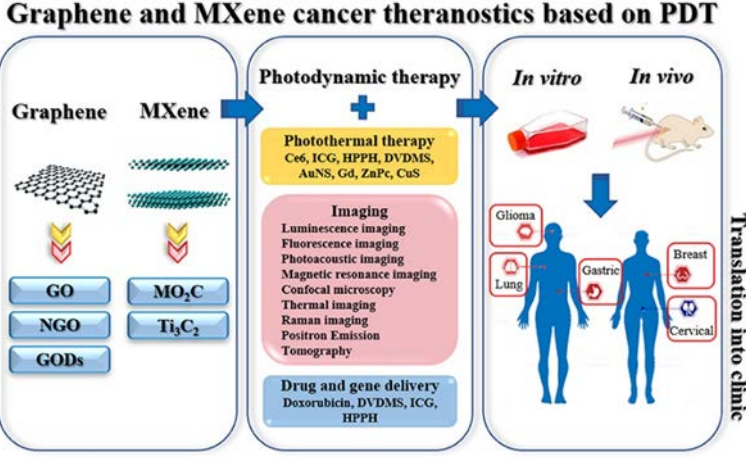
Şekil 1. ADC'lerin faaliyet gösterme süreci. (a) ADC'ler kan sistemindeki kanserle ilişkili antijenleri özel olarak tanır. (b) ADC'ler, antikor-antijen kompleksinin oluşması sırasında tümör hücrelerine içselleştirilir. (c) ADC'ler normalde endozomdan lizozoma taşınır. (d) Bağlayıcı veya antikor özgür toksinler serbest bırakmak için lizozom koşullarında parçalanır. ADC'ler, antibiyotik ilaç konjugatları (Tang ve diğerleri, 2019).

2.2.Biyolojik Görüntüleme ve Tanımlama

Biyokonjugatlar biyokimyasal sentez ve toksisite açısından önemli bir rol oynamaktadır. Biyokimyasal moleküller (proteinler, nükleik asitler) ve biyokimya açısından faydalı molekülleri birleştiren hibrit molekülerden oluşur. Bu moleküller, kanser ve hastalıkların tedavisinde de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. Floresan etiketi, hücrelerin ve moleküllerin süreçlerini analiz etmeyi içerir, ayrıca biyokonjüvatlarda da kullanılır. Etiketleme yöntemi, hücrelerdeki dinamik değişiklikleri analiz etmekle birlikte biyokimyasal toksisiteyi analiz etmek için kullanılabilir. Biyokonjugatlar ayrıca çeşitli hastalıkların tedavisinde de önemli bir rol oynar. Çeşitli klinik ortamlarda kullanılabilecek özel ve etkili tedaviler geliştirmede yardımcı olurlar. Günümüzde biyokonjugatlar, biyolojik görüntüleme ve tanımlama alanında biyokimyasal sentez ve toksisite açısından hayati bir rol oynamaktadır.



Şekil 2. Fototerainin şematik gösterimi. (A) PDT etki mekanizmaları ve sonraki neden hücre ölümü: apoptozis, nekroz ve otofaji. (B) Hücre membranı yıkımı, DNA denaturasyonu ve angienez bloke edilmesiyle tetiklenen PTT eylem mekanizmaları ve sonraki hücre ölümü (Gazzi ve diğerleri, 2019).

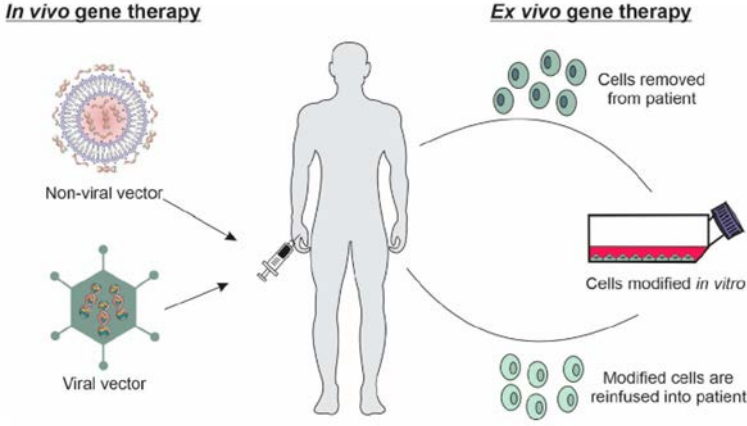


Şekil 3. Grafen ve MXene tabanlı kanser tedavisi için PDT’de mevcut uygulamaların şematik gösterimi. Sol panel: grafen ve MXene gösterimi. Orta panel: PDT ile kombine uygulamalar, konjuge molekül türleri (PTT için), görüntüleme türleri ve konjugat ilaç örnekleri (ilaç teslimatı için). Sağ panel: in vitro ve in vivo araştırılmış kanser türleri (Gazzi ve diğerleri, 2019)

2.3.Gen Terapisi ve Teslimat

Gen Teslimat Vektörleri: Biyokonjugat vektörleri, tedavi genlerini belirli hücre popülasyonlarına iletmek için tasarlanabilir. Hedef ligandları viral ya da non-viral vektörlere bağlayarak, gen teslimatı hastalıklı hücrelere yönlendirilebilir, bu da genetik bozukluklar ve kanser tedavisinde potansiyel sunar.

Gen Düzenleme Araçları: Biyokonjugasyon, CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme araçlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Cas9 enzimini belirli DNA dizilerini hedefleyen RNA’ları yönlendirmek için bağlayarak, biyokonjugatlar genomun kesin düzenlenmesine imkan verir, bu da gen terapisi uygulamaları için büyük umutlar sunar.



Şekil 4. Hedef hücrelere gen teslimatıyla ilgili *in vivo* ve *ex vivo* teknikleri. Temel olarak, *in vivo* ve *ex vivo* teknikleri gen terapisinde kullanılabilir. *In vivo* tekniği, belirli genetik materyalin hedef hücrelere veya dokulara doğrudan uygulanmasına dayanan gen terapisinde en çok kullanılan yaklaşımdır. Bu amaçla, sonoporasyon, elektroporasyon, fotoporasyon, gen silahı ve teslim sistemleri gibi farklı fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılabilir (Alhakamy, Curiel ve Berkland, 2021). *Ex vivo* teknikte, belirli hücreler konaktan çıkarılır, yetiştirilir ve genetik olarak *in vitro* transfeksiyonla değiştirilir ve daha sonra hastalara yeniden nakledilir (Branski, Gauglitz, Herndon ve Jeschke, 2009; Luiz ve diğerleri, 2022).

2.4.Biyomalzemeler ve Doku Mühendisliği

Biyouyumlu Malzemeler: Biyokonjugasyon, biyomalzemelerin canlı dokularla uyumluluğunu artırmak için yüzeylerini değiştirmek için kullanılabilir. Biyomalzemeler, peptidler veya proteinler gibi bioaktif moleküllerin bağlanmasıyla hücre bağlanmasını, büyümesini ve ayrımcılığını teşvik edebilir, doku yenilenmesini ve implant entegre edilmesini kolaylaştırır.

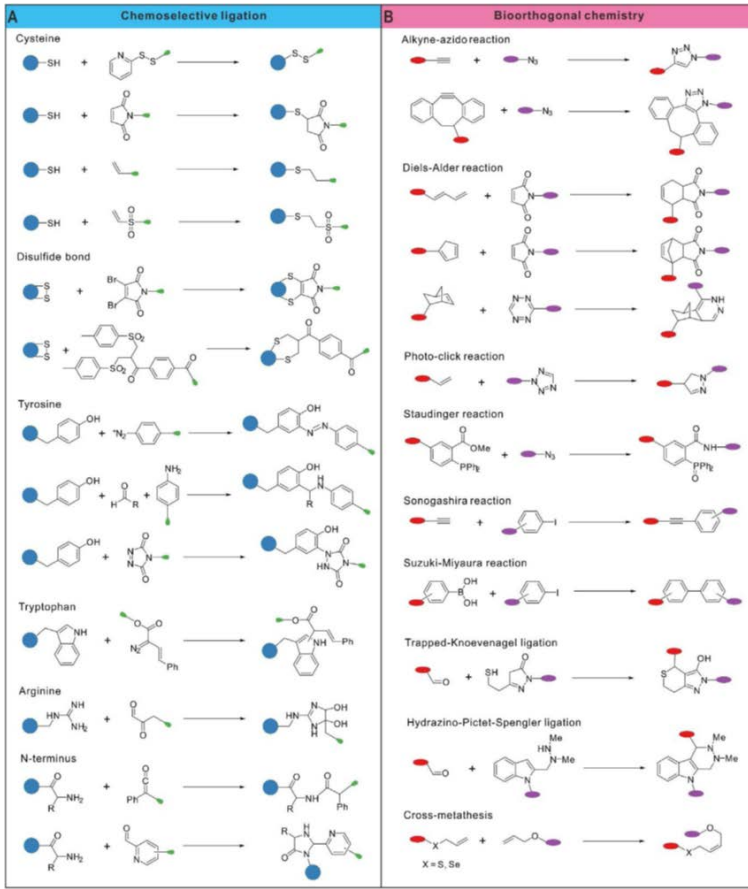
Hücre tabanlı tedaviler, hastanın vücudundan veya başka bir kaynaktan elde edilen hücrelerin kullanıldığı tedavilerdir.

Biyokonjugasyon özel fonksiyonlara sahip hücre yüzeylerini uygun hale getirmek için kullanılabilir. Örneğin, kök hücreler terapötik amaçlar için hasar görmüş dokularda göç ve yerleşimlerini yönlendirmek için hedef ligandlarla konjuge edilebilir (Volarevic ve diğerleri, 2018).

Biyouyumlu malzemeler, canlı dokularla uyumlu olan ve yan etkilere neden olmayan malzemelerdir. Biyokonjugasyon, biyouyumlu malzemelerin yüzeylerini değiştirerek onların canlı dokularla uyumluluğunu artırmaya yardımcı olabilir. Örneğin, biyoaktif moleküller, biyouyumlu malzemelere bağlanarak hücre bağlanmasını, büyümesini ve ayrımcılığını teşvik edebilir. Bu, doku yenilenmesini ve implant entegrasyonunu kolaylaştırabilir.

Bir örnek, titanyum implantlara bağlanan biyoaktif moleküllerin kullanımıdır. Bu moleküller, implantların hücrelerle bağlanmasını ve büyümesini teşvik ederek implantların vücuda entegrasyonunu artırabilir (Marsotto ve diğerleri, 2023).

Kök hücrelerin hedef ligandlarla konjuge edilmeside biyokonjugatların kullanımına dahildir. Bu ligandlar, kök hücrelerin hasar görmüş dokularda göç ve yerleşimlerini yönlendirebilir. Bu, kök hücrelerin terapötik amaçlar için kullanımını daha etkili hale getirebilir (Singh, Erb ve Zöllner, 2013).



Şekil 5. Biyomoleküllerin alan özgü konjugasyon için örnek reaksiyonlar. (A) Kanonik amino asitlerle kimyasal seçici bağlanma. (B) Polimer biyokonjugasyon için kullanılabilir biyorektonik kimyasallar. Mavi çember biyomoleküllerini temsil ederken, yeşil tohum şekli sembolü polimerleri veya fonksiyonel küçük moleküller gösterir. Kırmızı ve mor oval şekiller ya biyomoleküller ya da fonksiyonel küçük moleküller / polimerler anlamına gelir ve bunlar birbiriyle değiştirilebilir (Chen, Ng ve Weil, 2020).

Gao ve diğerleri, *in situ* ATRP growthof polimerleri için daha da uygulanmış olan N-terminal seçici transaminasyon yoluyla bir ATP başlatıcısının myoglobin'e konjugasyonunu

bildirdiler (Gao ve diğerleri, 2009). Yukarıda bahsedilen ve alanlara özgü polimer konjugasyon için diğer doğal amino asitlerin daha fazla örneği Şekil 5A'da özetlenmiştir (Canalle, Löwik ve Van Hest, 2010; Chen ve diğerleri, 2020; Gauthier, Klok ve Gauthier, 2008; Wang ve Wu, 2018).

Doğal biyomoleküllerin içsel reaksiyon gruplarına ek olarak, hem kanonik hem de non-kanonik amino asitler, kimyasal seçici ilişkiler ve geniş bir yelpazede biyobölgesel kimya kullanılarak alan spesifik konjugasyon için bir platform oluşturan biyoteknoloji mühendislik teknikleri yoluyla istenen konumda birleştirilebilir (Şekil 5B) (Chen ve diğerleri, 2020).

3. SONUÇ

Biyokonjugasyon, biyolojik ve biyolojik olmayan unsurları etkili bir şekilde birleştirerek çeşitli sektörlerde önemli etkilere sahip devrim niteliğinde bir teknolojidir. Biyolojik moleküllerin biyolojik olmayan materyallere bağlanma süreci, biyoteknoloji, tıp ve malzeme araştırmaları alanlarında geniş fırsatları ortaya çıkarmıştır. Biyokonjugatlar, biyomoleküllerin benzersiz özelliklerini ve sentetik materyallerin etkileyici yeteneklerini birleştirerek inovasyon ve keşif için sağlam bir temel sunar.

Biyokonjugasyonun önemi, biyolojik ve biyolojik olmayan moleküllerin farklı özelliklerini etkili bir şekilde birleştirme kapasitesinde yatar, bu da her bileşenin avantajlarını optimum hale getiren hibrid yapıları ortaya çıkarır. Antikorlar (proteinler), DNA ve RNA (nükleik asitler), şekerler (karbonhidratlar) ve lipitler gibi biyolojik moleküller, doku oluşturma, kimyasal reaksiyonlar ve genetik bilgi depolama gibi çeşitli biyolojik süreçlerde önemli işlevlere sahiptirler. Diğer taraftan, ilaçlar, boyalar, polimerler ve nano partiküller gibi biyolojik moleküllerde doğal olarak bulunmayan çeşitli

özelliklere ve işlevselliklere sahip biyolojik olmayan moleküller bulunmaktadır.

Biyokonjugasyon, gelişmiş tıbbi ajanların, tanı araçlarının ve özelleştirilmiş özelliklere sahip yenilikçi malzemelerin geliştirilmesinde potansiyel gösterir. Biyokonjugasyonun disiplinler arası karakteri, biyoloji, kimya ve malzeme bilimi alanları arasında işbirliklerini kolaylaştırarak karmaşık sorunlara yönelik yeni çözümlerin geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, biyokonjugatın esnekliği, biyolojik sistemlerle uyumlu yüzeylerin ve cihazların tasarımını kolaylaştırarak çeşitli kullanımlar için biyo-fonksiyonel materyallerin geliştirilmesine imkan verir.

Biyokonjugasyon araştırmalarının ilerlemesi, hassas tıp, hedefe yönlendirilmiş ilaç teslimatı ve biyo-duyusal teknolojilerde yeni olanakları beraberinde getirmesi beklenmektedir. İyileştirilmiş işlevselliğe sahip hibrid yapıların tasarlanma kapasitesi, sadece akademik alanda değil, aynı zamanda pratik uygulamalarda sağlık ve malzeme mühendisliğini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Biyokonjugasyon, biyolojik ve sentetik bileşenlerin bilimsel ilerlemeyi keşfetmeye yönlendiren sorunsuz bir birleşimini sergileyen disiplinler arası bir araştırma alanının öncüsüdür. Biyokonjugasyon alanı, devrim niteliğindeki buluşlar ve önemli etkileri olan dönüştürücü uygulamalar için büyük potansiyele sahiptir ve mevcut bilim ve teknoloji alanlarını önemli ölçüde etkileyebilir.

KAYNAKÇA

Alhakamy, N. A., Curiel, D. T. ve Berkland, C. J. (2021). The era of gene therapy: From preclinical development to clinical application. Drug Discovery Today. doi:10.1016/j.drudis.2021.03.021

- Altikatoglu, M. ve Celebi, M. (2011). Enhanced stability and decolorization of Coomassie Brilliant Blue R-250 by dextran aldehyde-modified horseradish peroxidase. Artificial cells, blood substitutes, and immobilization biotechnology, 39(3), 185-90.
- Branski, L. K., Gauglitz, G. G., Herndon, D. N. ve Jeschke, M. G. (2009). A review of gene and stem cell therapy in cutaneous wound healing. Burns. doi:10.1016/j.burns.2008.03.009
- Canalle, L. A., Löwik, D. W. P. M. ve Van Hest, J. C. M. (2010). Polypeptide-polymer bioconjugates. Chemical Society Reviews, 39(1). doi:10.1039/b807871h
- Celebi, M., Kaya, M. A., Altikatoglu, M. ve Yildirim, H. (2013). Enzymatic decolorization of anthraquinone and diazo dyes using horseradish peroxidase enzyme immobilized onto various polysulfone supports. Applied Biochemistry and Biotechnology, 171(3), 716-730. doi:10.1007/s12010-013-0377-x
- Chau, C. H., Steeg, P. S. ve Figg, W. D. (2019). Antibody–drug conjugates for cancer. The Lancet. doi:10.1016/S0140-6736(19)31774-X
- Chen, C., Ng, D. Y. W. ve Weil, T. (2020). Polymer bioconjugates: Modern design concepts toward precision hybrid materials. Progress in Polymer Science. doi:10.1016/j.progpolymsci.2020.101241
- Datta, S., Christena, L. R. ve Rajaram, Y. R. S. (2013). Enzyme immobilization: an overview on techniques and support materials. 3 Biotech, 3(1). doi:10.1007/s13205-012-0071-7
- Eş, I., Vieira, J. D. G. ve Amaral, A. C. (2015). Principles, techniques, and applications of biocatalyst immobilization

- for industrial application. Applied Microbiology and Biotechnology. doi:10.1007/s00253-015-6390-y
- Gao, W., Liu, W., Mackay, J. A., Zalutsky, M. R., Toone, E. J. ve Chilkoti, A. (2009). In situ growth of a stoichiometric PEG-like conjugate at a protein's N-terminus with significantly improved pharmacokinetics. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(36). doi:10.1073/pnas.0904378106
- Gauthier, M. A., Klok, H. ve Gauthier, M. A. (2008). Peptide / protein – polymer conjugates : synthetic strategies and design concepts, 2591-2611. doi:10.1039/b719689j
- Gazzi, A., Fusco, L., Khan, A., Bedognetti, D., Zavan, B., Vitale, F., ... Delogu, L. G. (2019). Photodynamic therapy based on graphene and MXene in cancer theranostics. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. doi:10.3389/fbioe.2019.00295
- H.H.P., Y. ve M.A., K. (2012). Enzyme-magnetic nanoparticle hybrids: New effective catalysts for the production of high value chemicals. Journal of Chemical Technology and Biotechnology.
- Kirk, O., Borchert, T. V. ve Fuglsang, C. C. (2002). Industrial enzyme applications. Current Opinion in Biotechnology. doi:10.1016/S0958-1669(02)00328-2
- Luiz, M. T., Dutra, J. A. P., Tofani, L. B., de Araújo, J. T. C., Di Filippo, L. D., Marchetti, J. M. ve Chorilli, M. (2022). Targeted Liposomes: A Nonviral Gene Delivery System for Cancer Therapy. Pharmaceutics. doi:10.3390/pharmaceutics14040821
- Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Sukumaran, R. K. ve Pandey, A. (2017). Strategies for design of improved

- biocatalysts for industrial applications. *Bioresource Technology*. doi:10.1016/j.biortech.2017.05.031
- Marsotto, M., De Santis, S., Sotgiu, G., Battocchio, C., Iucci, G., Ceccucci, A., ... Orsini, M. (2023). Multifunctional Platform for Covalent Titanium Coatings: Micro-FTIR, XPS, and NEXAFS Characterizations. *Langmuir*, 39(19). doi:10.1021/acs.langmuir.3c00424
- Singh, V., Erb, U. ve Zöller, M. (2013). Cooperativity of CD44 and CD49d in Leukemia Cell Homing, Migration, and Survival Offers a Means for Therapeutic Attack. *The Journal of Immunology*, 191(10). doi:10.4049/jimmunol.1301543
- Suzuki, M., Aki, A., Mizuki, T., Maekawa, T., Usami, R. ve Morimoto, H. (2015). Encouragement of enzyme reaction utilizing heat generation from ferromagnetic particles subjected to an AC magnetic field. *PLoS ONE*, 10(5). doi:10.1371/journal.pone.0127673
- Tang, H., Liu, Y., Yu, Z., Sun, M., Lin, L., Liu, W., ... Jin, Y. (2019). The analysis of key factors related to ADCS structural design. *Frontiers in Pharmacology*. doi:10.3389/fphar.2019.00373
- Volarevic, V., Markovic, B. S., Gazdic, M., Volarevic, A., Jovicic, N., Arsenijevic, N., ... Stojkovic, M. (2018). Ethical and safety issues of stem cell-based therapy. *International Journal of Medical Sciences*. doi:10.7150/ijms.21666
- Wang, Y. ve Wu, C. (2018). Site-Specific Conjugation of Polymers to Proteins. *Biomacromolecules*. doi:10.1021/acs.biomac.8b00248
- Yao, P., Zhang, Y., Zhang, S., Wei, X., Liu, Y., Du, C., ... Du, L. (2023). Knowledge atlas of antibody-drug conjugates on

CiteSpace and clinical trial visualization analysis.
Frontiers in Oncology. doi:10.3389/fonc.2022.1039882

DİFERANSİYEL DENKLEMLERİN SAYISAL ÇÖZÜMLERİNİN İNCELENMESİ PICARD TEOREMİ

Ahmet BOZ¹

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümleri konusunda hesaplamalı yöntemlere bir giriş yapmaktır. Yaklaşık çözümleri gerçekleştirebilmek için diferansiyel ve integral hesap, diferansiyel denklem teorisi, karmaşık analiz ve lineer cebirde bilinmesi gereken minimum önkoşulların sağlandığı varsayılmaktadır. Literatürde adi türevli denklemlerin birçok sayısal çözüm yöntemleri üzerine çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ise bu sayısal çözümler arasında önemli bir yer tutan Picard yöntemi üzerinde durulacaktır.

2. PICARD TEOREMİ

Adi diferansiyel denklemler genellikle mühendislik, doğa bilimleri, ekonomi gibi farklı bilim dallarında matematiksel modeller olarak ortaya çıkar. Bazı durumlarda denklemlerin çözümlerinin bulunması zor ya da imkansız olabilir. Bu tür durumlarda sayısal çözümlere başvurulur. Günümüzde sayısal çözümler düşük maliyetli yüksek doğruluklu olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu bölümde aşağıdaki şekilde tanımlanan birinci mertebeden diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri için bir yapı oluşturulacaktır.

¹ Prof. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi, ahmet.boz@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1438-2391.

$$y' = f(x, y) \quad (1)$$

Burada y , x reel değişkenine bağlı reel değerli bir fonksiyon olmak üzere $y' \equiv dy/dx$ şeklinde ifade edilir. Denklemin çözüm eğrisinin sonlu ailesini elde edebilmek için (1) denklemini başlangıç koşulu ile ele almak gerekir. $x > x_0$ için x_0 ve y_0 iki reel sayı olmak üzere

$$y(x_0) = y_0 \quad (2)$$

(1) diferansiyel denklemine (2) koşulu ile birlikte başlangıç değer problemi denir. Genel olarak $f(.,.)$ sürekli fonksiyon olsa bile (1-2) başlangıç değer probleminin tek çözüme sahip olduğu söylenemez. Neyse ki f fonksiyonu üzerine uygulanan küçük bir koşul ile çözümün varlık ve tekliği garantilenmiş olur. (Süli, 2022)

Bu koşul aşağıdaki teorem ile ifade edilebilir.

Teorem 1(Picard Teoremi): $f(.,.)$ sürekli bir fonksiyon olsun. Fonksiyonun bileşenleri U bölgesinden alınmak üzere (x, y) düzleminde dikdörtgensel bir bölge

$$R = \{(x, y): x_0 \leq x \leq X_M, |y - y_0| \leq Y_M\},$$

şeklindedir. Burada $X_M > x_0$ ve $Y_M > 0$ sabitlerdir. Bu durumda aşağıdaki eşitsizliği sağlayacak şekilde bir L operatörünün var olduğunu düşünelim.

$$|f(x, y) - f(x, z)| \leq L|y - z| \quad (3)$$

Burada her (x, y) ve (x, z) , R dikdörtgeni üzerinde noktalar. Sonuç olarak

$$M = \max\{|f(x, y)|: (x, y) \in R\}$$

İfadesi $M(X_M - x_0) \leq Y_M$ olacak şekilde yazılabilir. (1) ve (2) şartlarını sağlayacak şekilde $[x_0, X_M]$ aralığında tanımlı sürekli türevlenebilir tek bir $y(x)$ fonksiyonu vardır.

Burada (3) koşuluna “Lipschitz koşulu” ve L ye de f fonksiyonu için “Lipschitz sabiti” denir (Collins, 1988).

Şimdi Picard yöntemini iteratif olarak tanımlayalım:

$$y_0(x) = y_0 ,$$

$$y_n(x) = y_0 + \int_{x_0}^x f(u, y_{n-1}(u)) du , n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

İlave olarak teoremin koşullarını kullanarak $[x_0, X_M]$ aralığında tanımlı y_n fonksiyonu yine $[x_0, X_M]$ aralığında tanımlı y fonksiyonuna düzenli olarak yakınsar. Böylece

$$y(x) = y_0 + \int_{x_0}^x f(u, y(u)) du$$

Şeklinde çözüm aranır. Elde edilen bu çözüm, y fonksiyonunun $[x_0, X_M]$ üzerinde yeterince sürekli türevlenebilir olduğunu ve (1) diferansiyel denkleminin (2) başlangıç koşulunu sağlayan çözümü olduğunu gösterir. Çözümün tekliği Lipschitz koşulundan gösterilebilir.

Ayrıca Picard teoremi, m -diferansiyel denklemden oluşan denklem sistemi için başlangıç değer problemlerinin çözümü şeklinde de genişletilebilir.

$$y' = f(x, y) , y(x_0) = y_0 \quad (5)$$

Burada $y_0 \in R^m$ ve $f : [x_0, X_M] \times R^m \rightarrow R^m$ şeklinde tanımlıdır. R^m üzerinde $\|.\|$ Öklid normu tanımlayarak diğer teoremi ifade edelim.

$$\|v\| = (\sum_{i=1}^m |v_i|^2)^{1/2} , v \in R^m$$

Teorem 2(Picard Teoremi): $f(.,.)$ sürekli bir fonksiyon olsun. Fonksiyonun bileşenleri R^{1+m} uzayının U bölgesinden alınmak üzere (x, y) düzleminde paralelyüz içeren bir bölge

$$R = \{(x, y): x_0 \leq x \leq X_M , \|y - y_0\| \leq Y_M\} ,$$

Burada $X_M > x_0$ ve $Y_M > 0$ sabitlerdir (Harier, Norssett, ve Wanner, 1987). Bu durumda aşağıdaki eşitsizliği sağlayacak şekilde bir L operatörü var olsun.

$$\|f(x, y) - f(x, z)\| \leq L\|y - z\| \quad (6)$$

Burada her (x, y) ve (x, z) , R üzerinde noktalardır. Sonuç olarak

$$M = \max\{\|f(x, y)\|: (x, y) \in R\},$$

İfadesi $M(X_M - x_0) \leq Y_M$ olacak şekilde yazılabilir. (5) şartını sağlayacak şekilde $[x_0, X_M]$ aralığında tanımlı sürekli türevlenebilir tek bir $y(x)$ fonksiyonu vardır. (6) eşitsizliği için yeterlilik koşulu f fonksiyonunun R üzerinde sürekli olması, R içinde her (x, y) noktasında türevlenebilir olması ve $L > 0$ olacak şekilde

$$\left\| \frac{\partial f}{\partial y}(x, y) \right\| \leq L, \text{ her } (x, y) \in R' \text{ nin iç bölgesi} \quad (7)$$

Burada $\frac{\partial f}{\partial y}$, $m \times m$ boyutlu Jakobi matrisi ve $\| \cdot \|$, R^m üzerinde tanımlı Öklid vektörünün matris normudur. Aslında (7) koşulunun sağlanması (6) esas değer teoreminin de sağlandığını gösterir. Bu ifadenin tersi doğru değildir. Örneğin;

$f(y) = (|y_1|, \dots, |y_m|)^T$ fonksiyonunda $x_0 = 0$ ve $y_0 = 0$ alındığında (6) koşulu sağlanır fakat (7) sağlanmaz. Çünkü $f(y)$ fonksiyonu $y = 0$ noktasında türevlenemez.

Tersine bir örnek vermek gerekirse (3) deki $|y - z|$ ifadesi ve (6) daki $\|y - z\|$ ifadesi sırasıyla $0 < \alpha < 1$ için $|y - z|^\alpha$ ve $\|y - z\|^\alpha$ ifadeleri ile yer değiştiremez. Aksi taktirde başlangıç değer probleminin çözümünün tekliği garanti edilemez. Bu bölümü “kararlılık” kavramını tanımlayarak sona erdirelim.

Tanım 1: (5) denklemini için $[x_0, X_M]$ aralığında $y = v(x)$ çözümünün “kararlı” olması demek, her $\epsilon > 0$ için en az bir $\delta > 0$ olmak üzere her z için $\|v(x_0) - z\| < \delta$ şartı sağlanıyor demektir. $y' = f(x, y)$ diferansiyel denkleminde ait $y = w(x)$

çözümü, her $x \in [x_0, X_M]$ için $w(x_0) = z$ başlangıç koşulunu sağlar. Ayrıca her $x \in [x_0, X_M]$ için $\|v(x) - w(x)\| < \epsilon$ şartı da sağlanır (Lambert, 1991).

$[x_0, \infty)$ aralığında çözüm kararlı ise Lyapunov anlamında kararlıdır denilebilir. İlave olarak, eğer $\lim_{x \rightarrow \infty} \|v(x) - w(x)\| = 0$ ise $y = v(x)$ çözümüne asimptotik kararlıdır denir. Bu tanımları kullanarak aşağıdaki teoremi ifade edelim.

Teorem 3: Picard teoreminin hipotezi altında, $[x_0, X_M]$ aralığında (5) başlangıç değer probleminin tek çözümü $y = v(x)$ kararlıdır. Burada $-\infty < x_0 < X_M$ olarak kabul ediyoruz (Stuart, Humphries, 1996).

İspat:

$$v(x) = v(x_0) + \int_{x_0}^x f(u, v(u)) du$$

Ve $w(x) = z + \int_{x_0}^x f(u, w(u)) du$

Olur. Takip eden işlemlerde;

$$\|v(x) - w(x)\| \leq$$

$$\|v(x_0) - z\| + \int_{x_0}^x \|f(u, v(u)) - f(u, w(u))\| du$$

$$\leq \|v(x_0) - z\| + L \int_{x_0}^x \|v(u) - w(u)\| du \quad (8)$$

Şimdi $A(x) = \|v(u) - w(u)\|$ ve $a = \|v(x_0) - z\|$ alınırsa (8) eşitsizliği aşağıdaki gibi tekrar yazılır:

$$A(x) \leq a + L \int_{x_0}^x A(u) du, \quad x_0 \leq x \leq X_M \quad (9)$$

(9) eşitsizliği e^{-Lx} ile çarpılırsa

$$\frac{d}{dx} [e^{-Lx} \int_{x_0}^x A(u) du] \leq a e^{-Lx} \quad (10)$$

elde edilir. (10) eşitsizliğinin integrallenmesi ile

$$e^{-Lx} \int_{x_0}^x A(u) du \leq \frac{a}{L} (e^{-Lx_0} - e^{-Lx}),$$

ve buradan

$$L \int_{x_0}^x A(u) du \leq a(e^{-L(x-x_0)} - 1), \quad (11)$$

Eşitsizliği elde edilir. (11) eşitsizliğini (9) da yerine yazarsak

$$A(x) \leq a(e^{-L(x-x_0)}), \quad x_0 \leq x \leq X_M \quad (12)$$

elde edilir. Orijinal gösterime geri dönersek, (12) eşitsizliğinden

$$\|v(x) - w(x)\| \leq \|v(x_0) - z\| e^{L(x-x_0)}, \quad x_0 \leq x \leq X_M \quad (13)$$

Böylece Tanım 1'de verilen $\varepsilon > 0$ için $\delta = \varepsilon e^{-L(X_M-x_0)}$ olarak seçilirse kararlılık elde edilmiş olur (Henrici, 1962).

Bu çalışmayı sonuçlandırmak için, eğer $x_0 = -\infty$ yada $X_M = \infty$ alınması durumunda Teorem 3 sağlanmaz. Örneğin $y' = y$ diferansiyel denkleminin $y = 0$ deneme çözümü her $x_0 > -\infty$ için $[x_0, \infty)$ üzerinde kararsızdır. Daha genel olarak aşağıdaki başlangıç değer problemini ele alalım:

$$y' = \mu y, \quad y_0(x) = y_0,$$

μ bir karmaşık sayı olmak üzere $y(x) = y_0 e^{\mu(x-x_0)}$ çözümü $Re\mu > 0$ için kararsızdır. $Re\mu \leq 0$ için çözüm Lyapunov anlamında kararlıdır. $Re\mu < 0$ için asimptotik kararlıdır.

Sonuç olarak adi türevli denklemlerin sayısal çözümleri için uygulanan yöntemlerden biri olan Picard yöntemine ait üç önemli teorem verilmiştir. Çözümlerin varlık ve tekliği üzerine tanımlamalar verilmiş, son olarak da elde edilen çözümlerin hangi durumlarda kararlı olduğu konusunda bilgiler verilmiştir.

KAYNAKÇA

- Collins, P. J. (1988). Differential and Integral Equations. Part I. Oxford: Mathematical Institute.
- Hairer, E., Norsett S. P., ve Wanner G. (1987). Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems. Berlin: Springer-Verlag.
- Henrici, P., (1962). Discrete Variable Methods in Ordinary Differential Equations. NewYork: Wiley
- Lambert, J. D. (1991). Computational Methods in Ordinary Differential Equations. Chichester: Wiley.
- Stuart, A. M., Humphries, A. R. (1996). Dynamical Systems and Numerical Analysis. Cambridge: Cambridge University Press.
- Süli,E.(2022). Numerical Solution of Ordinary Differential Equations .Mathematical Institute, University of Oxford.

FEN BİLİMLERİNDE YAŞANAN GELİŞMELER:

Fizik, Kimya, Biyoloji



YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com

ISBN: 978-625-6524-93-4



9

786256

524934